

ALGORITMO PARA GENERAR ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE CARGA EN
UN USUARIO NO REGULADO PARA UN PROGRAMA DE RESPUESTA DE LA
DEMANDA.

DEIVYD NUÑEZ CAMACHO

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
AÑO 2017

ALGORITMO PARA GENERAR ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE CARGA EN
UN USUARIO NO REGULADO PARA UN PROGRAMA DE RESPUESTA DE LA
DEMANDA.

DEIVYD NUÑEZ CAMACHO

Proyecto de grado optante al Título de Ingeniero Electricista

Directores

Diego Fernando Echeverry Ibarra Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
AÑO 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

A mi padre, Arley Núñez, por ser un gran ejemplo de vida y hacer posible que su hijo tuviera estudios profesionales. Con su esfuerzo y dedicación a logrado que su familia pueda disfrutar una mejor calidad de vida.

A mi madre, Emilse Camacho, por su amor, comprensión, paciencia y disposición necesarias para guiarme por buen camino durante todo este tiempo.

A mi hermana, Geraldin Núñez, por su cariño y compañía permanente.

Al Profesor Diego Echeverry, por ser una excelente guía en este proceso, aun en momentos difíciles para él. Su acompañamiento, conocimiento y practicidad hicieron posible en gran parte el cumplimiento de este trabajo de grado.

Deivyd Nuñez Camacho

CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1 GENERALIDADES DE LA GESTIÓN DE DEMANDA.....	10
1.1 Gestión de la demanda.....	10
1.1.1 Mejora de la eficiencia energética.	10
1.1.2 Cambio en los patrones de consumo.....	10
1.2 Cargas gestionables	11
1.2.1 Cargas térmicas y Refrigeración.....	11
1.2.2 Cargas de ciclo fijo	11
1.2.3 Cargas modulares	12
1.2.4 Cargas Dinámicas	12
1.3 Posibilidades de Gestión del consumo de energía eléctrica.....	13
1.3.1 Traslado de consumo	13
1.3.2 Desconexión de aparatos eléctricos	13
1.3.3 Almacenamiento de energía	14
1.3.4 Autogeneración.....	15
1.4 Controladores de demanda	17
2 RESPUESTA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	23
2.1 Clasificación de los programas de respuesta de la demanda.....	23
2.1.1 Programas basados en precio (PBP o TBP)	24
2.1.2 Programas basados en incentivo (Incentive based program)	26
2.2 PRD aplicado al usuario no regulado.....	30
2.3 Requerimientos del programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible para un usuario no regulado.....	32
2.3.1 Programa de Carga Interrumpible: Caso Meralco	33

3	METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR UN ALGORITMO APLICADO EN PROBLEMAS DE FORMULACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	47
3.1	Metodología de solución de problemas.....	47
3.1.1	Identificación del problema	47
3.1.2	Planteamiento de alternativas de solución	48
3.1.3	Elección de una alternativa	48
3.1.4	Desarrollo de la solución	48
3.1.5	Evaluación de la solución.....	48
3.2	Metodología para diseñar un algoritmo	49
3.3	Verificación del algoritmo	50
3.4	Métodos de solución para el algoritmo	50
3.4.1	Estructuras secuenciales	51
3.4.2	Estructuras condicionales	51
4	ALGORITMO PARA LA GESTIÓN DE CARGA EN UN PROGRAMA DE CARGA INTERRUPTIBLE.....	54
4.1	Procedimiento general de un PRD de interrupción de carga	55
	Requerimientos y modulos funcionales de la solución propuesta.....	57
4.2	Tareas importantes para resolver.....	57
4.2.1	Orden de salida de las cargas gestionables	58
4.2.2	<i>Nivel de confort en la de gestión de cargas:</i>	59
4.3	Algoritmo para generar alternativas de gestión cargas de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible	61
5	ELABORACIÓN DE UN CASO HIPOTETICO PARA LA APLICACIÓN DEL ALGORITMO.....	66
6	APLICACIÓN DEL ALGORITMO EN UN CASO HIPOTÉTICO	71
	CONCLUSIONES.....	79
	TRABAJOS FUTUROS.....	81
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 .	DESCONEXIÓN DE CALENTADOR EXTRA DURANTE HORAS PICO	14
FIGURA 2 .	APLICACIÓN MÓVIL ENERGYVUE DE LA EMPRESA RAINFOREST AUTOMATION.	18
FIGURA 3 .	ESQUEMA OPERATIVO DEL DRAS8.0	19
FIGURA 4 .	OPERACIÓN DEL SOFTWARE DE ENERNOC.	20
FIGURA 5 .	OPERACIÓN DEL SOFTWARE DE INTELLISOURCE.	22
FIGURA 6 .	PROGRAMAS DE RESPUESTA EN DEMANDA	24
FIGURA 7 .	EJEMPLO DE TARIFAS DIFERENCIALES EN UN PROGRAMA TOU	25
FIGURA 8 .	EJEMPLO DE TARIFA DE UN PROGRAMA CPP	25
FIGURA 9 .	EJEMPLO DE TARIFAS EN TIEMPO REAL DE UN PROGRAMA TOU	26
FIGURA 10 .	PROCESO DE SOLICITUD DE REDUCCIÓN DE CARGA DEL PRD DE MERALCO	34
FIGURA 11 .	TIPOS DE ALERTAS DEL PCI DE MERALCO	38
FIGURA 12 .	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ALERTA AMARILLA	40
FIGURA 13 .	DIAGRAMA DE FLUJO DE ALERTA AMARILLA QUE PASA A NARANJA O ROJA	42
FIGURA 14 .	DIAGRAMA DE FLUJO DE ALERTA NARANJA O ROJA SÚBITAS	44
FIGURA 15 .	METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	49
FIGURA 16 .	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LAS ESTRUCTURAS SECUENCIALES	51
FIGURA 17 .	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA ESTRUCTURA CONDICIONAL SIMPLE	51
FIGURA 18 .	DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA ESTRUCTURA CONDICIONAL DOBLE	52
FIGURA 19 .	DIAGRAMAS DE FLUJO CON ESTRUCTURA CONDICIONAL MÚLTIPLE	52
FIGURA 20 .	DIAGRAMAS DE FLUJO CON ESTRUCTURA CONDICIONAL MÚLTIPLE SI - SI NO – SI	53
FIGURA 21 .	METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA AL USUARIO NO REGULADO	54
FIGURA 22 .	METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS PARA EL ALGORITMO	55
FIGURA 23 .	FLUJO GENERAL DE UN PRD DE INTERRUPCIÓN DE CARGA	56
FIGURA 24 .	DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO PARA GENERAR ALTERNATIVAS DE GESTIÓN DE CARGA DE UN USUARIO NO REGULADO EN UN PRD DE CARGA INTERRUPTIBLE	65
FIGURA 25 .	ESQUEMA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE CARTOPEL	67
FIGURA 26 .	RESPONSABILIDAD DE CARGA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARTOPEL	68
FIGURA 27 .	PERFIL DE CONSUMO PROMEDIO DIARIO DE CARTOPEL	68

LISTA DE TABLAS

TABLA I.	IDENTIFICACIÓN Y GESTIÓN DE CARGAS	16
TABLA II.	INFORMACIÓN DE PROGRAMAS BASADOS EN INCENTIVO MÁS USADOS	29
TABLA III.	TIPOS DE ALERTAS DE DEFICIENCIA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA	38
TABLA IV.	CARGAS Y POTENCIA INTERRUMPIBLE IDENTIFICADA EN CARTOPEL QUE GENERAN UN MÍNIMO IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	70
TABLA V.	LISTADO DE CARGAS PARA SIMULACIÓN DEL CASO HIPOTÉTICO	72
TABLA VI.	LISTADO DE CARGAS ORDENADAS DE MAYOR A MENOR POTENCIA E ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD	74
TABLA VII.	LISTADO DE CARGAS QUE CUMPLEN CON LA REDUCCIÓN DE POTENCIA SOLICITADA EJEMPLO 1	75
TABLA VIII.	LISTADO DE CARGAS QUE CUMPLEN CON LA REDUCCIÓN DE POTENCIA SOLICITADA EJEMPLO 2	77

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como propósito realizar un algoritmo que permitiera generar alternativas de gestión de carga en un usuario no regulado que conlleven a reducir el costo de energía eléctrica ante señales de precio de un programa de respuesta de la demanda. Para el cumplimiento de este objetivo se planteó, en primer lugar, hacer una revisión de los aspectos teóricos fundamentales de la Gestión de Carga con los diferentes métodos que permiten tener reducción de potencia en un momento determinado. En segundo lugar, se realizó un estudio de los diferentes programas de respuesta de la demanda que podían ser aplicados a un cliente no regulado. También se realizó una investigación para conocer los requerimientos e información necesaria de un usuario no regulado para participar en un programa de respuesta de la demanda y se revisó el caso de la empresa agregadora Meralco con el fin de tener un acercamiento a un programa real de respuesta de la demanda. Por último se realiza una propuesta para dar solución a la gestión de carga por parte un usuario no regulado aplicando una metodología de solución de problemas y una metodología para diseñar algoritmos. Se Construyó un caso hipotético basado en datos reales para probar el algoritmo y se probó el algoritmo para generar una alternativa bajo dos situaciones iniciales diferentes.

Palabras claves: Gestión de carga, Respuesta de la Demanda, Usuario no regulado, algoritmo, carga interrumpible.

ABSTRACT

The objective of this work was to develop an algorithm that would allow generating alternatives of load management in an unregulated user that lead to reduce the cost of electric energy before price signals of a demand response program. In order to comply with this objective, it was proposed, first, to make a review of the fundamental theoretical aspects of the Load Management with the different methods that allow having reduction of power in a certain moment. Second, a study of the different demand response programs that could be applied to an unregulated customer was conducted. In addition, an investigation was conducted to know the requirements and necessary information of an unregulated user to participate in the demand response program and the case of the Meralco aggregation company is presented, in order to have an approach to a real demand response program. Finally, a proposal is made to solve the load management by an unregulated user applying a problem solving methodology and a methodology to design algorithms. Was constructed a hypothetical case based on real data to test the algorithm and to generate an alternative under two different initial situations.

Keywords: Load management, Demand Response, Unregulated user, algorithm, Interruptible Load.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad ya es un hecho la implementación de redes que integran nuevas tecnologías de la información y la comunicación en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. Estos sistemas inteligentes o Smart grids brindan sostenibilidad y seguridad a la red, además de un fluido eléctrico eficiente, lo que traduce en prevención de cortes eléctricos, reconfiguración de la red para aislar fallas, ubicación rápida de las fallas, menor contaminación y se disminuye es el costo y/o cantidad de energía facturada.

Parte de la reducción del costo de la energía eléctrica se logra mediante los programas de respuesta de la demanda, en los que se busca reducir consumos de energía en horas pico donde la red se encuentra en su máximo nivel de demanda. La respuesta de la demanda conlleva una variación de tarifas en el costo de la energía, donde el cobro a los consumidores es de mayor o menor valor influenciado por la carga consumida, el tipo de generación que se realice o contingencias que se presenten en el sistema, incentivando al usuario final a modificar su perfil de consumo ante una solicitud del comercializador, lo cual se revierte en un beneficio económico para las partes.

Sofisticados ambientes de domótica y telemedición pueden interactuar para automatizar la desconexión controlada de cargas y consumos de un usuario final, brindando los beneficios de los programas establecidos para la Respuesta de la demanda sin necesidad que el usuario manipule directamente sus cargas o tenga un conocimiento previo especializado de temas relacionados con la electricidad y el uso de la energía. Sin embargo, en muchos casos no se contará con la tecnología necesaria para automatizar el proceso, por tanto sería necesario saber qué carga y cuándo se debe gestionar en un determinado momento, convirtiéndose esto en un problema debido al reducido conocimiento técnico que caracteriza a los consumidores. Los programas de respuesta de la demanda requieren que el usuario tenga tanto un plan de respuesta que genere los mayores ahorros, así como tomar decisiones en la operación de sus cargas en el momento indicado.

Este proyecto de grado busca mediante un algoritmo facilitar a un usuario no regulado realizar la gestión de carga para participar en un programa de respuesta de la demanda. Este desarrollo es importante porque se requiere procesar la gran cantidad de información que interviene en un Programa de Respuesta de la Demanda (PRD) y es necesario simplificar los aspectos técnicos económicos que debe considerar un usuario para la toma de decisiones. Para el logro de lo anterior se proyectaron los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Proponer un algoritmo para generar alternativas de gestión de carga en un usuario no regulado que conlleven a reducir el costo de energía eléctrica ante señales de precio de un programa de respuesta de la demanda.

Objetivos específicos:

- Proponer una alternativa de solución al problema de gestionar la carga para responder ante señales de precios.
- Especificar los requerimientos de la solución propuesta de gestión de carga ante señales de precio horarias.
- Definir módulos funcionales de la solución propuesta y aplicar una técnica para diseñar sus correspondientes algoritmos.
- Probar el funcionamiento del algoritmo desarrollado en un caso hipotético o real de un usuario no regulado.

Este documento se encuentra organizado por capítulos los cuales son descritos brevemente a continuación:

Capítulo 1 – Describe el marco referencial de los conceptos de Gestión de carga. Este apartado se centra en la descripción de los puntos más relevantes que se deben conocer de las iniciativas de gestión de carga, los diferentes tipos de cargas que pueden encontrarse en la industria y algunos métodos que se pueden usar para reducir potencia en un momento determinado.

Capítulo 2 – Se describen algunos tipos de programa de respuesta de la demanda basados en precio e incentivos, para finalmente escoger el que más se ajusta a un cliente no regulado.

Capítulo 3 – Se plantean metodologías para solución de problemas y la realización del algoritmo. Posteriormente se realiza el algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado que participe en un programa de respuesta de la demanda y se realiza la prueba del algoritmo para un caso hipotético.

Capítulo 4 – Se realiza una propuesta de solución al problema de gestionar cargas siguiendo la metodología del capítulo 3. Además se plantea el procedimiento general para la gestión de carga en un PRD de carga interrumpible y se desarrolla un algoritmo.

Capítulo 5 – Se elabora un caso hipotético de un usuario no regulado basado en un caso real de una industria papelería y de cartón

Capítulo 6 – Se realiza una prueba de escritorio al algoritmo para generar alternativas de gestión de carga en un usuario no regulado que se encuentra en un PRD de carga interrumpible usando el caso hipotético elaborado en el capítulo anterior.

Finalmente, el documento termina con una serie de conclusiones del trabajo desarrollado y posibles trabajos futuros.

1 GENERALIDADES DE LA GESTIÓN DE DEMANDA

La gestión de carga se puede definir como cualquier acción tomada por el cliente o el proveedor de Energía eléctrica con el fin de cambiar el perfil de carga para obtener una reducción en los picos de carga del sistema eléctrico (Grattieri, 2009). En todos los sectores industriales, la lucha continua para aumentar la competitividad exige la mejora continua de la relación calidad / coste de los productos ofrecidos en el mercado. Esto implica, entre otros factores, supervisión de los costos de producción. Sin embargo frecuentemente se dan casos en los cuales no se presta atención a los costos de la energía, ya sea debido a su impacto relativamente menor en los costos totales, o porque son simplemente considerados como "no gestionables" (Grattieri, 2009).

Un examen más detallado de cómo surgen estos costos demuestra que puede ser posible aprovechar los incentivos y precios favorables ofrecidos por el operador de red con el fin de alentar a los consumidores a utilizar la energía de una forma más eficiente y lograr un ahorro significativo en los costos de producción, sin ningún efecto adverso sobre la calidad del producto o la productividad.

1.1 Gestión de la demanda

Las iniciativas de gestión de la demanda suelen iniciar por la necesidad del operador de red para suavizar la curva de carga del sistema y de esta manera retrasar o evitar la instalación de activos y la reducción de los costos de la energía, estas son algunas de las soluciones por las cuales se puede optar:

1.1.1 Mejora de la eficiencia energética.

Son todas aquellas medidas y mejoras tecnológicas encaminadas a la búsqueda de una reducción global del consumo o una desaceleración en las tasas de incremento de demanda eléctrica (Domínguez, 2012). Para esto se pueden tomar acciones que mejoren la eficiencia de los procesos de la empresa, reducir el consumo de los equipos o en general hacer un uso más eficiente de la energía eléctrica.

1.1.2 Cambio en los patrones de consumo

Traslado de consumo

Se puede optar por trasladar el uso de cargas de momentos en que la red se encuentra saturada o periodos pico a otros horarios en los cuales la demanda es más baja.

Relleno de valles de demanda con nuevas cargas

Este punto se enfoca en que las nuevas demandas de energía eléctrica se realicen durante las horas valles, por ejemplo, la carga de los vehículos eléctricos (Domínguez, 2012).

Reducción de puntas en situaciones críticas

Este punto busca estrategias orientadas a lograr una reducción de la demanda punta en situaciones críticas (Domínguez, 2012), puede lograrse principalmente mediante la desconexión de carga. También es posible aplicar el traslado de consumo.

1.2 Cargas gestionables

La eficacia de la gestión de carga depende en gran medida de la posibilidad de aumentar, disminuir, o reprogramar las cargas. La identificación y caracterización de cargas que se manejarán es una operación fundamental que debe realizarse antes de la ejecución de cualquier programa de gestión de la carga, para conocer parámetros como el tiempo y la frecuencia de uso de los equipos.

1.2.1 Cargas térmicas y Refrigeración

Este tipo de cargas tiene una gran versatilidad en su funcionamiento, debido a que la mayoría de los equipos pueden funcionar normalmente dentro de un rango de la temperatura establecida y están en condiciones de tolerar cierta desviación del valor óptimo. Las cargas de refrigeración y térmicas tienen buena capacidad de almacenamiento lo que permite una mayor flexibilidad en la variación del ciclo de trabajo, sin afectar negativamente el producto al que se esté aplicando frío o calor. Este tipo de equipos hace posible disminuir, interrumpir o aumentar el suministro eléctrico de estos equipos durante ciertos periodos de tiempo con un impacto bajo su rendimiento. Por tanto las cargas térmicas y de refrigeración son una buena opción para reducir los picos de consumo de la curva de carga para un usuario no regulado que se encuentre en un programa de respuesta de la demanda. Entre los ejemplos de usos térmicos eléctricos se pueden mencionar hornos (de arco, inducción, resistencia, etc.), las calderas, calentadores de agua, estufas, refrigeradores y aires acondicionados (Grattieri, 2009)

1.2.2 Cargas de ciclo fijo

Estas cargas trabajan constantemente con una secuencia de operaciones fijada previamente. Se puede citar como ejemplos tratamientos térmicos de metales o

procesos en la industria de alimentos para cocinar, hornear, esterilizar, etc. El problema de interrumpir estas cargas es que muchas de ellas no pueden reiniciar el ciclo desde el punto de interrupción. Esto dependerá del tiempo de la interrupción y del tipo de proceso que se esté realizando. En tratamientos térmicos, por ejemplo, es probable que se produzcan alteraciones en las características del material si no se procede de acuerdo con la secuencia programada de calefacción y refrigeración. Del mismo modo, la cocción interrumpida puede dañar la materia prima del producto y en algunos casos puede incluso dañar los equipos si se interrumpe el proceso. Otros procesos, como el secado, son menos sensibles a las interrupciones (Grattieri, 2009). Este tipo de máquinas y equipos son menos flexibles al momento de desconectar, por tanto deben ser analizadas y determinar según su funcionamiento cuales de estas máquinas son una opción para reducir carga.

1.2.3 Cargas de manipulación directa

Muchas de estas cargas son operadas directamente por el usuario y dependen de un momento específico o condición en particular. La interrupción de estos equipos debe ser analizada porque puede originar una condición de riesgo tanto para las personas como para la producción(Grattieri, 2009). Ejemplos típicos son: iluminación, ascensores, grúas y motores para máquinas en general. En algunos casos, su control puede implicar poner en peligro la seguridad de las operaciones en la fábrica. Las luces de una fábrica por ejemplo deben estar encendidas durante la noche si se encuentra personal trabajando pero deben ser apagadas cuando no haya nadie, los ascensores no se pueden detener durante su operación con personas dentro, pero su uso puede ser racionalizado durante ciertos horarios. El funcionamiento de algunas de estas cargas no puede ser interrumpido por tanto se debe analizar otras opciones de manejo, como optimizar el proceso para hacer más eficiente en el consumo del recurso energético o el uso de plantas de autogeneración.

1.2.4 Cargas Dinámicas

Las cargas estáticas como resistencias pueden ser desconectadas fácilmente a diferencia de las cargas dinámicas tales como motores eléctricos, debido a que en su operación los arranques y paradas frecuentes reducen su duración de vida útil (Grattieri, 2009). Los motores eléctricos también pueden ser gestionados tomando las precauciones necesarias, ya que arranques demasiado frecuentes pueden causar un sobrecalentamiento en los devanados del motor. Equipar los motores con arrancadores eficientes reduce la intensidad de corriente del arranque, permitiendo interrumpir el proceso con más frecuencia.

1.3 Posibilidades de Gestión del consumo de energía eléctrica

Una vez identificadas las cargas que se esperan gestionar y sus características operacionales se aplica algún método de control. A continuación se presenta la descripción general de varios de ellos.

1.3.1 Traslado de consumo

El objetivo es reducir el consumo moviendo las cargas de periodos en los que la energía es más costosa (generalmente picos de la curva de demanda) a otros horarios en los que la carga es menor. Este método de control para la gestión de carga se realiza normalmente mediante la reorganización de las actividades de trabajo. Por ejemplo la producción de agua caliente se puede realizar en horas de la noche o la madrugada y guardarla en el tanque de almacenamiento, otra forma puede ser programar operaciones de maquinaria pesada durante las horas de baja demanda energética. La reprogramación de procesos es más efectiva en fábricas que operan en dos o tres turnos de manera que si dos o más líneas de producción de alta demanda se realizan al mismo tiempo, los ciclos de operación pueden ser modificados para evitar su coincidencia en horas pico.

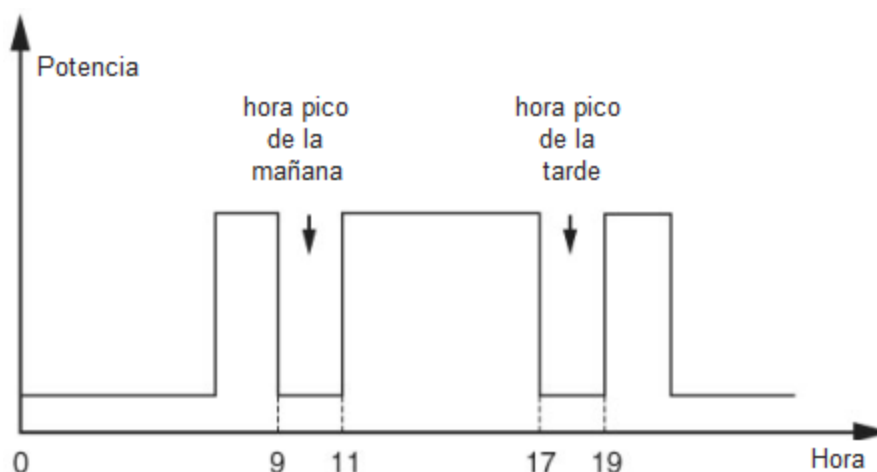
La inercia térmica de los edificios puede ser aprovechada para la calefacción eléctrica o enfriamiento con aire acondicionado encendiendo los equipos de climatización por la mañana para precalentar o pre enfriar el lugar y alcanzar el nivel de temperatura antes de empezar el período de precios altos. Del mismo modo, los sistemas de calefacción y aire acondicionado pueden ser apagados antes que los empleados salgan de las instalaciones. En la industria, la iluminación general, contribuye muy poco a la factura de la energía (por lo general alrededor de 5-8%), y su programación podría resultar antieconómico (Grattieri, 2009).

1.3.2 Desconexión de aparatos eléctricos

Consiste en limitar el uso de algunos equipos durante las horas pico para mantener la máxima potencia bajo un umbral prefijado. Por ejemplo, la figura 1 muestra la desconexión del calentador extra durante las horas pico.

La potencia eléctrica absorbida se promedia durante períodos de 10, 15 o 30 minutos. Durante este período, no se utiliza algunos equipos de baja prioridad con el fin de no superar el umbral.

Figura 1 . Desconexión de calentador extra durante horas pico



Fuente: Grattieri, 2009

Esta práctica es generalmente factible para las industrias que pueden subir y bajar su producción durante un cierto tiempo, sin impactos significativos sobre los niveles de producción y sin dañar el equipamiento y productos. Los materiales y productos en medio del proceso se pueden almacenar durante una o más fases de la actividad de producción permitiendo que la fábrica trabaje en periodos de baja demanda.

Las industrias con cargas de producción moderada pueden modular su funcionamiento, es decir, reducir la producción durante las horas pico sin problemas operativos o financieros y sin reducir la producción total. En cambio, para las industrias que funcionan a sus límites de capacidad, la reducción de la demanda de electricidad por un tiempo determinado puede resultar en una reducción en la producción. Cuando esto ocurre, se requiere algún tipo de reestructuración que permita a este tipo de usuarios beneficiarse de las ventajas económicas de la gestión de la carga (Grattieri, 2009).

1.3.3 Almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía durante los períodos de menor costo de la energía finalmente es un desplazamiento del consumo sin impactar en el funcionamiento del proceso productivo. Por eso es adecuado para programas de respuesta de la demanda. El almacenamiento se puede lograr por medio de sistemas que implican baterías o si se requiere energía térmica, mediante el calentamiento de un medio tal como agua, aire o aceite, en un tanque de almacenamiento; generalmente la energía que se almacena no es suficiente para cubrir la demanda total de un cliente.

El sistema almacena energía durante los períodos de bajo costo y posteriormente se descarga durante el período donde la tarifa es más costosa. Las aplicaciones más comunes tienen que ver con el almacenamiento de energía térmica (frio y calor) debido a que el almacenamiento de energía eléctrica a través de las baterías es más costoso y conlleva dificultades para optimizar el ciclo de carga/descarga. Estos son algunos ejemplos de sistemas de almacenamiento de energía térmica (Grattieri, 2009):

- ***El agua caliente para el personal o proceso*** se puede calentar durante la noche usando resistencias eléctricas y almacenarla en un tanque. Aprovechando la capacidad de almacenamiento de los tanques (entre 100 y 200 m³) que se encuentran en diversos sectores industriales resulta una práctica económica, en particular en las industrias agroalimentarias que utilizan una gran cantidad de agua caliente para el lavado, limpieza, cocina, etc.
- ***Almacenamiento de agua en una torre o un recipiente a presión***, Realizar el llenado de agua con antelación puede reducir el consumo de la bomba durante las horas pico.
- ***Enfriar o congelar agua para el aire acondicionado o procesos***, se puede almacenar en tanques para reducir costes. Tanques de aire o aceite a alta presión se instalan por las mismas razones.
- ***Calefacción por suelo radiante*** Se realiza por medio de resistencias que se incrustan en el hormigón al hacer el piso de los edificios, esto permite el almacenamiento de energía térmica por la noche para tener una temperatura ideal durante las horas de trabajo.
- ***Carga de baterías durante la noche***, El almacenamiento de esta energía se realiza cuando el costo de la energía es más bajo. Las baterías pueden servir como medio de almacenamiento de la energía generada por métodos alternativos de generación como la eólica o solar; ya que estas se realizan en ciertos momentos del día dependiendo de las condiciones climáticas que son inherentes a su funcionamiento.

1.3.4 Autogeneración

Debido al alto costo de la energía eléctrica durante los períodos pico, la generación eléctrica local o generación distribuida puede resultar una alternativa viable, además de mitigar los posibles efectos negativos presentes en los métodos de gestión de carga descritos anteriormente. La generación distribuida dependiendo del tipo de fuente, permite al usuario generar y autoabastecer su demanda energética cuando sea requerida. A continuación la tabla I muestra la identificación y gestión de cargas.

TABLA I. IDENTIFICACIÓN Y GESTIÓN DE CARGAS

Cargas gestionables	Cargas térmicas y refrigeración	Cargas de ciclo fijo	Cargas modulares	Cargas dinámicas
Característica	Buen almacenamiento térmico	Secuencias operacionales prefijadas	operadas por el usuario dependiendo de condiciones particulares	movimiento constante durante su operación
Equipo o maquina	Calderas, calentadores de agua, estufas, refrigeradores, aires acondicionados	Hornos para tratamientos térmicos de metales, maquinaria para procesos de alimentos (hornear, cocinar, esterilizar)	Iluminación, ascensores, grúas	Motores
Tipo de gestión	Disminución y/o interrupción de carga	Traslado de horario, interrupción contralada dependiendo del proceso	Instalar plantas de autogeneración	Interrupción y/o disminución tomando precauciones necesarias
Restricciones	Durante la interrupción no se debe superar la banda de temperatura permisible de los productos en calefacción o refrigeración para no producir daños	Muchos procesos no pueden reiniciar su ciclo desde el punto de interrupción, puede producir alteraciones en el producto final	La interrupción puede poner en riesgo la seguridad del personal en área	La interrupción continua reduce la vida útil de estas maquinas

Fuente: elaboración propia

1.4 Controladores de demanda

En la actualidad varias empresas están implementando herramientas que integran tecnologías de la información y la comunicación en los procesos de la gestión de carga y consumo eléctrico de los usuarios de la red.

Este tipo de tecnología de software tiene como finalidad facilitar las acciones preestablecidas que deben aplicar los usuarios ante señales de un programa de respuesta de la demanda. Comúnmente se requiere un dispositivo en el cual se concentre la información que debe ser procesada, datos como la medición del consumo del cliente, las diferentes tarifas o señales de precio que se vayan a manejar, el tipo de cargas a las cuales se modificara el consumo. Además una interfaz en la cual el usuario puede hacer seguimiento de los procesos y acciones.

Cada empresa realizadora de software tiene formas constructivas diferentes con cualidades que pueden ser destacadas para cada marca.

Rainforest Automation es una empresa privada con sede en Vancouver, BC. Realiza productos que permiten a sus clientes gestionar el consumo de energía en tiempo real. Su aplicación móvil EnergyVUE toma información de la energía directamente de un medidor inteligente para proporcionar información detallada del consumo y permitir una visión real del costo que se tiene hasta el momento. Esta información puede ser visualizada por día, semana mes o año.

Una de sus cualidades es tener la información disponible siempre en el hogar, por lo que no hay que preocuparse si el internet está disponible, esto quiere decir que la información personal de la energía se almacena de forma local. El EAGLE es la herramienta de comunicación encargada de centralizar la información de los diferentes dispositivos inteligentes que se tengan en casa. Puede comunicarse con los demás dispositivos independientemente del protocolo o aplicación y puede ser conectado a cualquier equipo con IP ya sea por wifi o ethernet.

Con la funcionalidad completa 2.0b OpenADR, el EAGLE puede responder y reaccionar a los eventos a medida que ocurren utilizando su conexión constante con el medidor inteligente para informar al controlador de eventos, si los ahorros necesarios van a ser alcanzados o si hay nuevos eventos disponibles.

Figura 2 . Aplicación móvil EnergyVUE de la empresa Rainforest Automation.



Fuente: rainforestautomation.com



Honeywell es una importante empresa multinacional estadounidense con sede en Morristown, Nueva Jersey. Produce una variedad de productos de consumo, servicios de ingeniería y sistemas aeroespaciales. Su software es denominado ***Demand Response Automation Server 8.0 o DRAS 8.0*** , ayuda a gestionar los servicios de un programa de respuesta de la demanda así como sus recursos y eventos, procurando mantener la estabilidad de la red y ayudando a los participantes del programa a optimizar sus ahorros de energía.

Honeywell cuenta con la tecnología de software y hardware respectivas para automatizar y cumplir con un amplia gama de tipos de programas de respuesta de la demanda aplicado a las necesidades de prácticamente todos los clientes que pueden ser residenciales, pequeños negocios, comerciales e industriales.

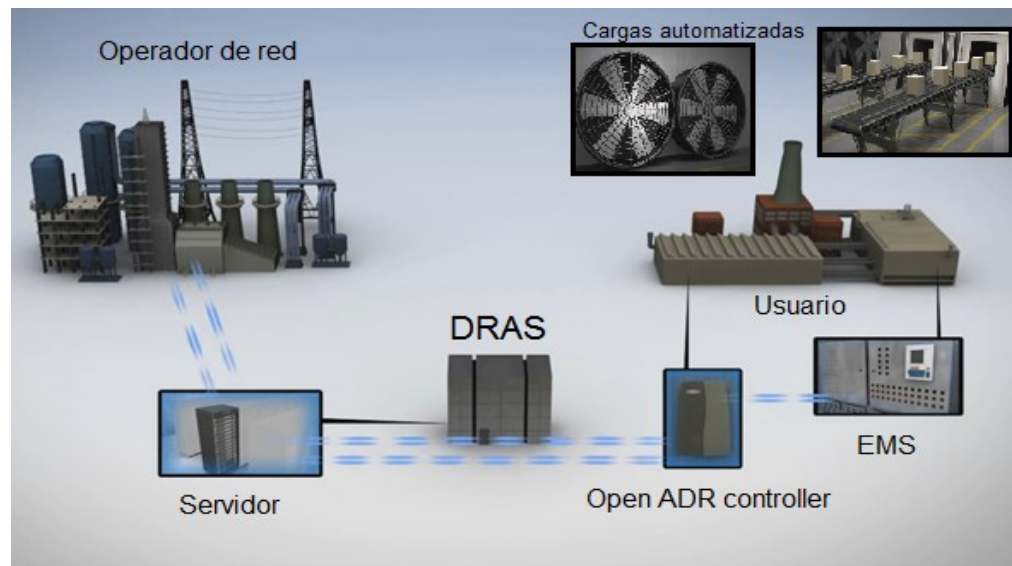
Su funcionamiento está basado en la una tecnología propia que permite la comunicación bilateral entre la empresa prestadora de servicio eléctrico y el usuario. Toda la información es almacenada en su servidor DRAS (Demand Response Automated Server) el cual usa protocolos de encriptación de alto nivel para mantener la seguridad en el almacenamiento e intercambio de la información.

Las señales de la empresa de energía eléctrica son enviadas al DRAS a través de internet, luego el DRAS se comunica con el Open ADR Controller (Open Automated Demande Response Controller) que se encuentra instalado en la ubicación del usuario y es programado para interactuar con el EMS (Energy Management System)

que es quien realiza la operación de las cargas que se encuentran automatizadas. Esta infraestructura puede ser integrada fácilmente en otros sistemas, además es compatible con las necesidades de diversos programas de respuesta de la demanda.

El DRAS 8.0 Pueden ver el estado de los eventos en línea o fuera de línea, presentación de informes detallados de los eventos, Análisis de tiempo de ejecución, estado actual del sistema, el horario del termostato y la previsión y optimización de eventos entre otros.

Figura 3 . Esquema operativo del DRAS8.0



Fuente: www.honeywell.com



EnerNOC es una empresa estadounidense con sede en Boston, Massachusetts. Su aplicación móvil es de descarga gratuita y ofrece a los usuarios un cómodo acceso a los datos de energía en tiempo real de sus instalaciones y despachos de respuesta a la demanda desde sus teléfonos inteligentes y tabletas

EnerNoc ofrece su servicio intermediando cuando el operador de la red anticipa la necesidad de una reducción de energía eléctrica por parte de los usuarios que se encuentren en un programa de respuesta de la demanda, por tanto el operador de red envía una señal electrónica al Centro de Operaciones de Red (NOC) notificando

el evento y luego el NOC se encarga de contactarse con el usuario vía correo electrónico o SMS para comunicar los detalles.

Al recibir la notificación enviada al usuario el NOC se encarga de asesorar sobre las opciones que tiene el usuario para reducir su consumo de acuerdo con la estrategia de reducción de energía predefinida.

El Centro de Operaciones de Red se mantiene en comunicación constante con el usuario durante el despacho para brindar el apoyo necesario y poder lograr altos niveles de eficiencia y ahorro

El software de EnerNoc permite utilizar diferentes funciones a las cuales se puede acceder desde el computador personal, Tablet o celular inteligente. Estas son algunas de sus características:

- Acceso a diversos programas de respuesta a la demanda.
- Visualización y gestión del rendimiento del programa RD en tiempo real para maximizar los ingresos.
- Seguimiento los registros activos, rendimiento, información de contacto, y los planes de reducción de energía.
- seguimiento de los ahorros.

Figura 4 . Operación del software de EnerNoc.



Fuente: www.enernoc.com



Comverge es una compañía privada estadounidense con sede en Whippany, New Jersey. Que ofrece software, hardware y servicios a las empresas eléctricas en relación a respuesta de la demanda y programas de eficiencia energética. IntelliSOURCE es su software basado en la nube, que proporciona utilidades operativas en todos sus programas de eficiencia y respuesta de la demanda y automatiza cada fase de los programas de gestión de la demanda del mercado.

IntelliSOURCE ofrece herramientas para la implementación exitosa de un programa de respuesta de la demanda. Entre sus características se incluyen:

Control de eventos proporciona todas las operaciones de comando y control, operaciones de control, gestión de dispositivos, configuración y la generación y control de eventos.

Control directo y precios El software maneja diferentes tipos de programa de respuesta de la demanda.

Medición y verificación Realiza seguimiento y medición de los eventos con un dispositivo de medida. Puede predecir eventos futuros basados en la ocurrencia de eventos pasados, garantizando un rendimiento continuo de las operaciones del dispositivo y del sistema.

Informes proporciona información gráfica y estadística para permitir el análisis y la evaluación del rendimiento de los programas de respuesta a la demanda.

Comunicación en tiempo real la comunicación se puede realizar por medio de Wi-Fi y celular, apoyado de las AMI.

IntelliSOURCE integra la participación de los usuarios mediante la web en su portal de participación móvil, el cual contiene panel de control en línea que ofrece herramientas y consejos útiles, gráficos y tablas de comparación. Permite a los clientes monitorear el estado de su hogar de forma remota y programar el funcionamiento de su termostato ajustando la temperatura. Otra funcionalidad interesante es que analiza los datos del usuario para ofrecer ideas y consejos de eficiencia energética personalizados y aplicables al consumidor. Se realizan comparaciones de metas cumplidas entre los clientes que participan en un programa de respuesta de la demanda con el fin de motivar a los usuarios a realizar las respectivas reducciones en el consumo de energía. Es accesible desde prácticamente cualquier dispositivo con Internet, incluyendo computadores de mesa, computadores portátiles, teléfonos inteligentes o tabletas.

Figura 5 . Operación del software de IntelliSOURCE.



Fuente: www.comverge.com

2 RESPUESTA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Se define como los cambios en los consumos de electricidad por parte los consumidores finales para responder ante cambios en el precio de la electricidad a través del tiempo. La respuesta de la demanda puede ser definida también como un pago de incentivos que son acordados entre operador y usuario para inducir un menor uso de electricidad en periodos de altas demandas, cuando el precio de la energía es mayor en mercado mayorista o cuando se presenten contingencias en el sistema de potencia (Albadi & El-Saadany, 2008).

La respuesta del consumidor que participa en un programa de respuesta en demanda puede darse de tres formas. Como primera opción, los consumidores pueden reducir su consumo de energía eléctrica durante las horas pico cuando los precios son más elevados, sin modificar su patrón de consumo en las demás horas; de esta manera no se perderán procesos por la reducción de carga en las horas restantes. Esta opción implica una pérdida temporal de la comodidad, ya que no habrá una reposición de dicha reducción de consumo.

La segunda opción para responder a la demanda es trasladar cargas, esto implica mover algunas de sus operaciones de mayor consumo a horarios fuera de los picos, de esta manera no habría pérdida de procesos o actividades por la reducción de carga en las horas de precio máximo. Sin embargo, en un consumidor industrial, si recurre a una reprogramación de sus actividades, podría tener inconvenientes con los costos de reestructuración (Albadi & El-Saadany, 2008).

En tercer lugar, los usuarios pueden optar por autogenerar la energía que consumen ya sea total o parcialmente. Esta opción tiene como ventaja que los consumidores tendrán un cambio muy pequeño o ningún cambio en sus patrones de consumo porque están en la capacidad de suplir su propia demanda; sin embargo desde el punto de vista del sistema eléctrico, esta acción se verá como una disminución de demanda (Albadi & El-Saadany, 2008) y desde el punto de vista del consumidor deberá tener una reducción neta del costo de energía. Cada una de estas acciones involucra costos y medidas adoptadas por el cliente.

2.1 Clasificación de los programas de respuesta de la demanda

Estos programas se clasifican en dos grandes categorías y de ellas se derivan algunos subprogramas. Las dos categorías se denominan: Programas basados en incentivos (Incentive based program) y Programas basados en precios (Price based program). En la figura 6 se muestran algunos de los programas más importantes de esta clasificación.

Figura 6 . Programas de respuesta en demanda



Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Programas basados en precio (PBP o TBP)

Estos programas se basan en las tasas de fijación dinámicas de los precios en donde las tarifas de electricidad no son planas; estas tasas actúan siguiendo los costos reales de la electricidad. El objetivo de estos programas es aplanar la curva de demanda, ofreciendo una alta tarifa durante las horas pico y tarifas bajas en las horas por fuera las máximas demandas (Albadi & El-Saadany, 2008). A continuación se definirán algunos de estos programas.

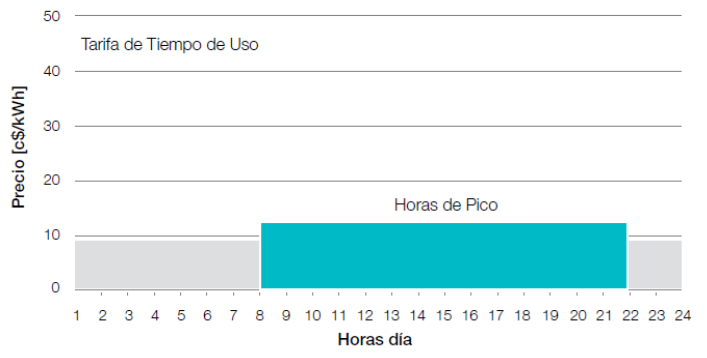
Tiempos de uso (TOU)

Este programa utiliza una variación en el precio de la energía dependiendo del momento del día en que se encuentre. La forma más sencilla de TOU es utilizar dos bloques de tiempo, generalmente llamados periodo pico y periodo no pico (o fuera del pico). Los TOU son los mecanismos de tarifa variable más comúnmente utilizados, especialmente para clientes residenciales.

La aplicación de este plan en el contrato de un cliente no regulado, le implicaría trasladar sus operaciones de alto consumo energético a los horarios donde hay una tarifa más económica. Tomando como referencia las tarifas de la Figura 7, los horarios entre las 10 de la noche y 8 de la mañana serían los más apropiados para ejecutar tareas pesadas con alto consumo energético. Un cliente no regulado que

tenga la capacidad de manejar los turnos laborales en periodos de bajo consumo puede beneficiarse económicamente de este plan reprogramando actividades. Aunque en otros casos donde el cliente maneje gran cantidad de producción este ejemplo de 2 tarifas puede no resultar muy conveniente debido a la limitación de las jornadas de trabajo.

Figura 7 . Ejemplo de tarifas diferenciales en un programa TOU



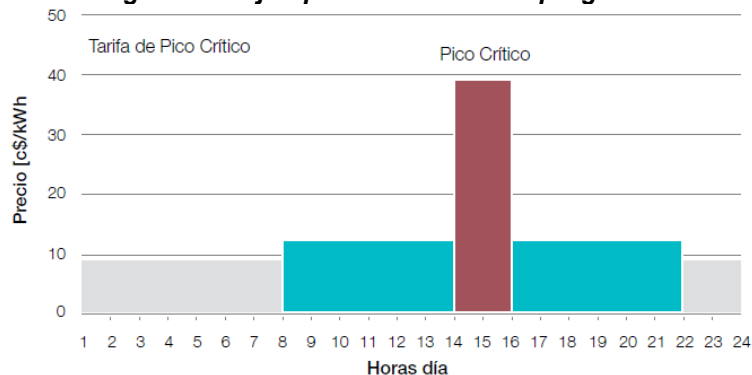
Fuente: (Ghia & Del Rosso, 2009)

Precio de pico crítico (CPP)

Consiste en la aplicación de tarifas muy altas durante periodos críticos debidos a contingencias o fallas en el sistema eléctrico. Sus precios son más altos que los precios en TOU y a diferencia de éstos, en el CPP la cantidad de días en que se aplica la tarifa de pico es limitada e informada previamente al usuario por parte del operador.

El cliente no regulado debe tomar las precauciones correspondientes para reprogramar con antelación las actividades de los procesos que se realicen en los horarios de precio de pico crítico ya que los costos de la operación serán por mucho mayores a los convencionales.

Figura 8 . Ejemplo de tarifa de un programa CPP

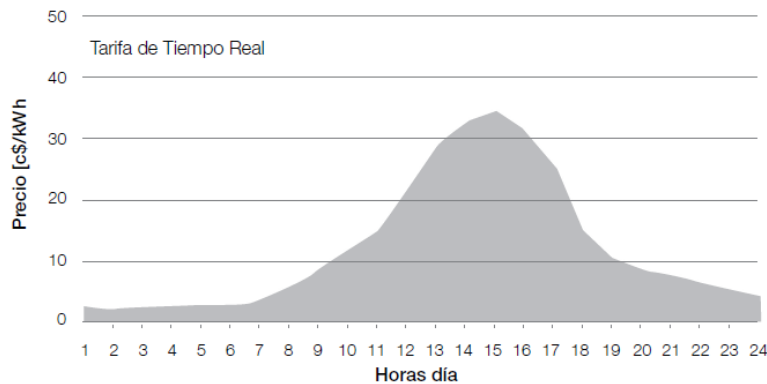


Fuente: (Ghia & Del Rosso, 2009)

Precio en tiempo real (RTP)

Es un programa donde los participantes pagan el costo real de la energía eléctrica que varía constantemente, generalmente cada hora, en relación al del mercado mayorista. Los clientes están informados con un día o en ocasiones con sólo una hora de antelación de los movimientos de los precios en el mercado (Ghia & Del Rosso, 2009). Predecir el comportamiento del precio de la energía puede tornarse complejo debido a que no solo se tiene en cuenta los precios del mercado, sino también las contingencias que puedan aparecer en la red (Cerezo, 2010).

Figura 9 . Ejemplo de tarifas en tiempo real de un programa TOU



Fuente: (Ghia & Del Rosso, 2009).

2.1.2 Programas basados en incentivo (Incentive based program)

En este tipo de programas la empresa prestadora del servicio de energía acuerda con el usuario una remuneración económica para que éste reduzca su consumo de carga en momentos que lo requiera la empresa de energía eléctrica. Se diferencia de los programas basados en precio en que el usuario no responde ante señales de variación del costo de la energía eléctrica.

Se distinguen fundamentalmente dos variantes de este tipo de planes: control directo de la carga y planes oferta y recompra (demand bidding/buyback). Algunas publicaciones incluyen dentro de esta categoría a planes destinados al control de la demanda en situaciones de emergencia, como por ejemplo, control de cargas interrumpibles, o programas de carga de emergencia. A continuación se definirán algunos de estos programas.

Control directo de carga (Direct Load Control - DLC)

En este programa de respuesta de la demanda la conexión y desconexión de los equipos y/o máquinas eléctricas es realizada directamente por la empresa de energía (Koliou, Eid, & Hakvoort, 2013). por lo general este tipo de programa se

centra en equipos de aire acondicionado, iluminación, calentadores de agua y bombas de piscina, los cuales pueden ser desconectados o modificar su ciclo de trabajo (Hernández, 2016). Los aires acondicionados por ejemplo pueden estar apagados durante cortos períodos de tiempo sin incomodar al cliente. Una empresa operadora de California durante un estudio piloto encontró que la mayoría de clientes no percibe la existencia de DLC que dura 15 minutos o menos en su corte de operación (Horowitz, Mauch, & Sowell, 2013).

El usuario no regulado debe disponer de una infraestructura de medición avanzada (AMI) y los dispositivos necesarios para que el operador de red pueda controlar de forma remota la desconexión de cargas (Strahan & Miller, 2014). La inversión para ingresar a este programa de gestión de la demanda es mucho mayor a la de un programa PBP, pero también se produce un ahorro energético mayor. Este tipo de programas es de interés principalmente de clientes residenciales y pequeños clientes comerciales con demanda máxima inferior a 100 kW (Rocky Mountain Institute, 2006).

Las estructuras de incentivos para los programas DLC normalmente incluyen pagos mensuales abonados a la factura del servicio público del cliente, además de un pago por la participación en el programa. Por otra parte el operador de servicio pacta mediante acuerdos con los clientes el número máximo de eventos por año en los que participaran, por ejemplo hasta 30 y la duración máxima de cualquier evento dado que puede estar en un rango de 2 a 8 horas, pero por lo general es de 4 horas. Cabe recalcar que el operador de servicio controla las cargas de los clientes directamente y el aviso para este programa se da poco antes de iniciar un evento, alrededor de 3 minutos o menos (Rocky Mountain Institute, 2006).

La mayoría de los programas de DLC permiten al cliente anular un evento si experimentan problemas, pero también se imponen sanciones por esta cancelación.

Carga interrumpible (Interruptible load/curtailable)

Es un programa de respuesta de la demanda que está enfocado en usuarios industriales con gran cantidad de consumo energético. Esto permite disminuir grandes cantidades de potencia y aplanar la curva de demanda en momentos que la sistema lo requiera y de esta manera mantener un equilibrio en momentos críticos entre la generación y la demanda (REE, 2015). El aviso se suele dar de minutos a horas por adelantado, pero algunos programas deben notificar a los participantes hasta un día antes. Al igual que los programas de control de carga directa, se debe pactar inicialmente el número máximo de eventos y duraciones por año (Rocky Mountain Institute, 2006).

Por lo general, los usuarios finales proporcionan la información de la carga que reducirán a través de un agregador que es contratado por el operador de red para ofrecer el servicio de desconexión de carga en el mercado de las reservas. A

cambio, los usuarios finales reciben pagos por su disponibilidad. Se acumulan créditos a la factura en rangos desde \$ 8.00 dólares/kW hasta \$ 9.00 dólares/kW en función de su potencial de reducción de carga. Se realiza una penalización de \$ 6 dólares/kWh cuando no se pueda reducir la carga total, o se reduzca por debajo de lo acordado, durante el tiempo de una solicitud de reducción(PG&E, 2017).

Un ejemplo de este tipo de programa se encuentra en Nueva Zelanda donde la empresa agregadora de la parte baja de North Island es EnerNOC, contratada por el operador de servicios Genesis Energy (ENERNOC, 2012). La agregadora tiene como objetivo reducir los picos de carga y por ende los precios de electricidad. Cuando surge la necesidad, el operador de servicios informa a EnerNOC la reducción de carga necesaria. A su vez EnerNOC contacta a sus clientes para que estos reduzcan el consumo o enciendan su generador de respaldo. El tiempo de antelación para el envío de las notificaciones es de dos horas y el cliente está obligado a reducir el consumo de una cantidad de carga contratada previamente cuando se le pide que lo haga. Por esta acción se desembolsa un pago por confiabilidad. EnerNOC instala medidores inteligentes que se comunican a su Centro de Operaciones de Red, por tanto los clientes tienen control de la energía en tiempo real a través del portal web de EnerNOC y aplicaciones de software. Las notificaciones se envían a los clientes es a través de SMS, correo electrónico, o por teléfono. Los clientes reciben un pago por estar inscritos en el programa de carga interrumpida y un pago por energía relacionado con la cantidad de carga disponible para reducción.

Respuesta de la demanda de emergencia (Emergency Demand Response)

En este programa de respuesta de la demanda los usuarios disminuyen su potencia durante periodos de emergencia a cambio de un pago de incentivos (Koliou et al., 2013). A diferencia del PRD de carga interrumpible la reducción de la demanda por parte del usuario es voluntaria(Ghia & Del Rosso, 2009).

El EDR permite suscribir a usuarios finales que puedan proporcionar Reducción de carga mediante la desconexión o el desplazamiento de la carga a un generador local, cuando sea solicitado durante condiciones de emergencia (NYISO, 2013). Este programa no impone sanciones sobre los usuarios por no responder a las solicitudes de reducción de carga a diferencia de otros programas en los cuales pasar por alto una señal de reducción de consumo puede acarrear sanciones.

Los requerimientos para un usuario inscribirse a este programa son (NYISO, 2013)

- Estar en capacidad de reducir al menos 100 kW de carga.
- Estar en capacidad de responder dentro de dos horas después de la señal de aviso.

- tener una infraestructura de medición inteligente que permita tomar datos de consumo en intervalos por hora para validar la reducción del usuario y un máximo de más o menos 2% de error en la medición

En la siguiente tabla se consigna información relevante de los tres programas de incentivos mencionados anteriormente, de manera que sea más fácil tener un panorama sobre el tipo de programa más adecuado para un cliente no regulado que quiera ingresar a un programa de respuesta de la demanda.

TABLA II. INFORMACIÓN DE PROGRAMAS BASADOS EN INCENTIVO MÁS USADOS

	Control Directo de carga (Rocky Mountain Institute, 2006)	Carga interrumpida (Rocky Mountain Institute, 2006)	RD de emergencia (NYISO, 2013)
Encargado de desconectar	Operador de red. Por contrato.	Usuario final. Por Contrato.	Usuario final. Voluntario
¿Cuándo desconecta?	Pactado con el usuario, generalmente horas pico	Pactado con el usuario, generalmente horas pico y momentos críticos	Durante periodos de emergencia, calculados a partir de indicadores de confiabilidad de la red y estándares de seguridad
Tiempo de desconexión	Pactado con el usuario (2 a 8 horas) generalmente 4 horas	Pactado con el usuario ¹	Pactado con el usuario ¹
Tiempo de solicitud	Pactado, generalmente 2 horas	Pactado, puede ser un día, horas o hasta minutos en ocasiones	generalmente 2 horas
Tipo de respuesta	Obligatoria, algunas veces con posibilidad de cancelar eventos, pero se imponen sanciones	Obligatoria, no atender los eventos ocasiona sanciones	Voluntaria, no impone sanciones
Niveles de potencia	Menores a 100Kw	entre 100kW y 500 kW para reducción mayor a 500kW para interrupción	Mayor a 100kW

¹ En la bibliografía consultada habla de acuerdos pactados con el cliente mas no especifica cuanto tiempo dura la desconexión.

	Control Directo de carga (Rocky Mountain Institute, 2006)	Carga interrumpida (Rocky Mountain Institute, 2006)	RD de emergencia (NYISO, 2013)
Enfocado a clientes	Comerciales, residenciales ²	Industriales (grandes consumidores)	Comerciales, industriales
Tecnología requerida	conexión y desconexión automática, medidor inteligente	Medidor inteligente	Medidor inteligente
Incentivos	pagos mensuales abonados a factura de servicio público, pago por participación en el programa	pago en efectivo por eventos	pago en efectivo por eventos

Fuente: elaboración propia

Como se pudo observar la división de los programas de respuesta de la demanda basados en precio e incentivo encierra a pequeños consumidores residenciales en el primer grupo y a grandes consumidores comerciales e industriales en el segundo (Hernández, 2016). El sujeto de aplicación del presente trabajo de grado es un usuario no regulado, que se define según la Comisión de Regulación de Energía y Gas como una persona natural o jurídica que presenta una demanda de potencia superior a 0.1 MW o un consumo energético mensual mínimo de energía de 55 MWh, durante seis meses (CREG, 1998). Esta cantidad de carga por lo general definirá al usuario no regulado como un usuario comercial o industrial, por tanto fija uno de los puntos principales para definir el tipo de programa de respuesta de la demanda con el cual se va a trabajar en el documento.

2.2 PRD aplicado al usuario no regulado

Como se vio anteriormente los programas basados en tiempos de uso utilizan variaciones en el precio de la energía dependiendo del momento del día en que se encuentre. Generalmente utilizando dos o tres bloques de tiempo, lo que implicaría a un cliente no regulado trasladar sus operaciones de alto consumo energético a los horarios donde hay una tarifa más económica. Este tipo de PRD va más enfocado a clientes residenciales.

² Se asume que la bibliografía se refiere a un grupo de clientes residenciales vinculados mediante un agregador y no a clientes residenciales individuales.

Los programas basados en incentivos se enfocan en grandes consumidores de energía y sus características permiten a las industrias participar de manera favorable para responder a los programas de respuesta de la demanda. En la revisión de la bibliografía se encontró un estudio realizado en 2008 por la Federal Energy Regulatory Commission FREC en el mercado estadounidense donde el 8% de los consumidores participaron en algún PRD. De este dato se estimó que la contribución global de los PRD está por el orden de los 41.000 MW. Así mismo se encontró que existían 274 empresas que ofrecían PRD. De estas reducciones, aproximadamente 38.000 MW se debían a reducciones por programas de incentivos (Baratto, 2010), lo que corresponde a un gran porcentaje de la reducción total de potencia por parte de este tipo de programas. En la experiencia de este país las iniciativas de carga interrumpida para los usuarios no regulados sirve como guía para escoger el tipo de PRD que se aplicara en este proyecto de grado.

Los PRD deben ser enfocados a las necesidades propias del lugar donde se está aplicando, por ejemplo en los mercados de energía de eléctrica de Estados Unidos se presenta un déficit de capacidad en los periodos de alta demanda (Universidad de los Andes, 2006). En el caso de Colombia el sistema cuenta con exceso de capacidad pero un déficit de energía debido a que la generación es predominantemente de tipo hidráulica, por tanto depende de las condiciones climatológicas y de una hidrología que permita aprovechar las unidades de generación hidráulica disponibles. Los eventos en esta región se originan principalmente por condiciones de hidrología crítica, esto sirve como punto de partida para precisar el tipo de PRD en variables como el tiempo de antelación con que se debe notificar, la activación y la cantidad de carga que se debe reducir durante este tipo de eventos que se pueden presentar en la red.

El algoritmo para generar alternativas de gestión de carga en un usuario no regulado será enfocado a los programas basados en incentivos y más específicamente al programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible, considerando que sus características permiten responder a las necesidades que pudieran presentarse durante la activación de eventos. Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones del PRD de carga interrumpible:

Tipo de clientes: Para el caso Colombiano, serían los usuarios no regulados, donde se incluyen los consumidores comerciales e industriales entre los cuales se espera encontrar un caso real o hipotético para el desarrollo de este trabajo de grado

Nivel de carga: Mayores a 100kW, esto permite variedad de cargas que se podrán gestionar, además de ser un requerimiento de carga mínima que deben tener los usuarios no regulados que participan en PRD de carga interrumpible

Métodos de reducción de carga: Principalmente se aplican los métodos de disminución y/o interrupción de carga.

Tecnología requerida: Se hace necesario un medidor inteligente de 2 vías que permita al usuario conocer los datos de consumo en tiempo real del usuario y además puedan ser monitoreados y transmitidos a la empresa prestadora del servicio de energía. Este tipo de equipos por lo general ya se encuentran disponibles en las instalaciones de los usuarios no regulados. Se requiere tener un medio de comunicación entre el usuario y la empresa de prestadora del servicio de energía para informar de los eventos y enviar las confirmaciones. De manera opcional se puede adicionar un equipo de autogeneración que permita abastecer ya sea completamente o parte del consumo del usuario durante la activación de los eventos (Universidad de los Andes, 2006) los sistemas de control y automatización para la interrupción y/o reducción de carga serán realizados de forma manual por el usuario, el algoritmo que se plateara en este trabajo de grado busca minimizar los dispositivos tecnológicos necesarios para ingresar en el programa de respuesta de la demanda.

Encargado de la desconexión: El usuario es el encargado de la reducción y/o desconexión de los equipos y está bajo su responsabilidad las cargas que gestionará. Esta labor puede convertirse en un reto para el usuario ya que debe tener un plan para gestionar sus cargas y responder oportunamente a las señales de los eventos recibidos por parte del operador de red. Es importante tener conocimiento del proceso que maneja la fábrica del usuario no regulado, tales como, el horario de uso de las máquinas y/o equipos, que tan flexible son al momento que se deban desconectar, Etc. Se obtiene esta información con el fin de no afectar significativamente el proceso productivo, esto implica que al realizar la gestión de carga, las metas de producción de la fábrica deben mantenerse sin generar pérdidas económicas. El Proyecto de grado plantea desarrollar un algoritmo que genere alternativas de gestión de carga minimizando este tipo retos y dificultades que afronta un usuario no regulado al ingresar a un programa de respuesta de la demanda.

2.3 Requerimientos del programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible para un usuario no regulado

Los usuarios no Regulados que deseen ingresar en un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible deben cumplir con una lista de requerimientos. Los requerimientos pueden tener algunas variaciones según el caso de la empresa afiladora al PRD, a continuación se muestran alguno de los requerimientos (Rocky Mountain Institute, 2006) (NYISO, 2013):

Estar en capacidad de reducir al menos 100 kW de carga. La cantidad máxima que el usuario está dispuesto a reducir es pactada con el agregador al momento realizar el contrato.

- El usuario en este tipo de PRD debe responder a los eventos de manera obligatoria, ya que no atender los eventos acarrea sanciones.
- Estar en capacidad de responder dentro de las dos horas siguientes a recibir la señal de aviso. Por esta razón es necesario que el usuario tenga un plan para gestionar sus cargas y atender de manera efectiva a los eventos en el tiempo acordado. El número de eventos al igual que su duración son pactados con el agregador al momento de realizar el contrato.
- Tener una infraestructura de medición inteligente que permita tomar datos de consumo que permitan validar la reducción del usuario y un máximo de más o menos 2% de error en la medición.
- Tener el medio de comunicación para recibir los eventos ya sea por SMS, correo electrónico, o por teléfono.

2.3.1 Programa de Carga Interrumpible (PCI): Caso Meralco

Se presenta a continuación el programa de carga interrumpible de la empresa agregadora Meralco con el fin de tener un acercamiento a un programa real de respuesta de la demanda. El PCI es una solución de gestión de la demanda implementada, donde los usuarios de energía eléctrica realizan un acuerdo con agregadores autorizados por su empresa prestadora del servicio de energía para reducir total o parcialmente su carga durante un período de tiempo. Las empresas con capacidad de generación que participan en este programa son compensadas por usar sus equipos de generación en casos de déficit de suministro de energía. El incentivo mensual obtenido por los usuarios se basa en la capacidad de participación del programa (Pacific Gas and Electric Company & Pg&E, 2010).

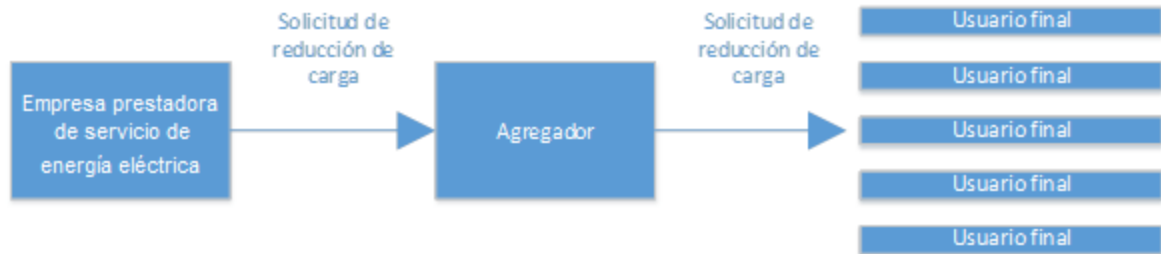
Estos son algunos requerimientos propios de este programas de carga interrumpible a los cuales se deben acoger los usuarios de la agregadora Meralco(Meralco, 2015):

- Demanda máxima de al menos 1MW
- Medidor inteligente (con capacidad de grabación del perfil de carga)
- Capacidad de autogeneración o de disminución de carga después de una señal de evento

2.3.1.1 Funcionamiento del Programa de Carga Interrumpible de Meralco

El proceso inicia cuando la empresa prestadora del servicio de energía requiere una reducción de carga debido a contingencias en el suministro de energía eléctrica, este se lo comunica a la empresa agregadora que a su vez enviara a sus clientes una notificación en la que solicita realizar los preparativos necesarios para atender al evento.

Figura 10 . Proceso de solicitud de reducción de carga del PRD de Meralco



Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de antelación por evento que se manejan en programa de carga interrumpible puede variar dependiendo de la empresa agregadora, por ejemplo la agregadora PG&E, notifica a sus clientes mínimo con 30 minutos de antelación, con un evento máximo por día y cuatro horas por evento. no excede 10 eventos por mes, o 180 horas por año(Pacific Gas and Electric Company & Pg&E, 2010).

Los clientes de la agregadora Meralco que cuenten con una demanda de al menos 1 MW y generación propia de respaldo, son incentivados para utilizar voluntariamente su propio generador durante las horas pico del día y cambiar una parte de la energía eléctrica consumida de la red de distribución por la energía eléctrica autogenerada.

2.3.1.2 Ingreso al programa de carga interrumpible

El cliente interesado debe expresar su intención al operador de red de unirse al programa de carga interrumpible. El operador de red evalúa la capacidad del aspirante para cumplir con los requerimientos de participación y remite a la empresa agregadora la lista de clientes que han manifestado su intención de unirse al PCI.

Tomando como ejemplo el trámite realizado por la agregadora Meralco los clientes deben presentar la siguiente información:

- Cantidad de MW a los cuales se comprometen para la interrupción.

- Como parte del protocolo de comunicación se debe nombrar un coordinador de despacho(Energy Market Company, 2012), en otros casos tres representantes (dependiendo del agregador) autorizados que pueden decidir en nombre de la empresa respecto a la participación durante la implementación del programa de carga interrumpida(Meralco, 2015). La comunicación entre el coordinador o representante de despacho de la empresa y el agregador se realiza normalmente por vía telefónica.
- Cumplir con los requerimientos técnicos para ingresar al PRD de carga interrumpible.
- Datos de contacto (números de teléfono móvil y direcciones de correo electrónico) de los tres representantes autorizados.

Se deben diligenciar los formularios establecidos con la información solicitada anteriormente y una vez presentados los requisitos, se puede firmar un contrato.

2.3.1.3 Requerimientos técnicos para participar en un programa de carga interrumpible

- Protocolo de comunicación

El suscriptor al programa de carga interrumpible debe establecer un centro de control en sus instalaciones donde se mantendrá y operará al menos un enlace de comunicación de voz entre su centro de control y los centros de control de la empresa agregadora. El enlace de voz consiste en una línea telefónica que se utiliza únicamente para fines operacionales.

El coordinador de despacho debe estar en capacidad de ponerse en contacto mediante teléfono, celular o localizador en todo momento y responder puntualmente a las instrucciones del centro de control del agregador. La activación del programa de carga interrumpible, la cantidad de reducción de carga, la disponibilidad para encender sus grupos electrógenos o la restauración de la carga una vez terminado el evento son algunas de las confirmaciones que se deben realizar.

- Prueba de capacidad de reserva para carga interrumpible

Un usuario con intención de proporcionar reserva de carga a través de sus instalaciones debe realizar pruebas de sitio para verificar las capacidades de liberación de carga de su instalación. Estas pruebas determinarían si la instalación de carga cumple con el requisito como instalación de carga interrumpible según se detalla en el Código de Transmisión, Reglas del Mercado y Manual de Operación del Sistema(Energy Market Company, 2012).

Para iniciar la prueba el usuario recibiría un Mensaje Alfanumérico del operador de red. Al recibir la notificación el usuario debe primero acceder al sitio web de la EMC para confirmar que aparece el mismo mensaje. El proveedor de carga interrumpible

debe iniciar la grabación del monitoreo desde el tiempo de inicio (T1) y proceder a activar la bobina de disparo del disyuntor designado (o dispositivo de gestión de carga designado) en un plazo de 10 minutos y registrar el tiempo de activación (T2).

Mediciones / datos a presentar:

- A. Nombre del proveedor de carga interrumpible
- B. Nombre del propietario de la instalación de carga interrumpible
- C. Dirección del sitio de la instalación de carga interrumpible
- E. El tiempo de iniciación (T1) y el tiempo de activación (T2)
- F. Registro de energía activa
- G. Estado del contacto del relé (abierto / cerrado) o estado de funcionamiento del dispositivo de gestión de carga designado
- H. Perfil de carga de la instalación de carga interrumpible de los últimos 3 meses tomado por medio de un dispositivo medidor inteligente .

- Dispositivo de medición

El usuario es responsable de la instalación, prueba, puesta en marcha y posterior mantenimiento de su dispositivo de medición inteligente. El funcionamiento del dispositivo de medición debe ser certificado por un trabajador eléctrico con licencia. Entre las especificaciones del dispositivo de medición inteligente encontradas en la bibliografía consultada se tienen los siguientes:

- A. Frecuencia y contactos de salida digitales activados por temporizador que pueden preajustarse a una frecuencia de 48Hz a 52Hz en pasos de 0.05Hz y temporizador de 0 segundos a 60 segundos en pasos de 0.5 segundos.
- B. Grabación continua de la medición analógica y del estado digital de todos los canales de señal incluso en caso de interrupción de la alimentación.
- C. Memoria interna no volátil que pueda almacenar señales de todos los canales durante al menos 30 segundos antes y 30 minutos después del inicio de cada activación.
- D. La medición de potencia y frecuencia debe tener una precisión de al menos 0,01MW y 0,05Hz, respectivamente.
- E. Las señales se muestrearán como mínimo a una velocidad de 1 segundo para cada canal.
- F. Los registros de la memoria interna del medidor deben ser transferibles en formato ASCII / Excel. Estos registros deben indicar claramente la identificación del medidor y deben ser asegurados para que sus datos no sean adulterados.

2.3.1.4 Activación del PCI

Cuando ocurren anomalías en el funcionamiento de las instalaciones propias del usuario o suscriptor de carga interrumpible, es importante que el coordinador de despacho informe puntual y directamente a la agregadora de las siguientes contingencias:

- Cambio significativo en la capacidad de reserva de la instalación de carga
- Retirada del servicio de las instalaciones de carga
- Indisponibilidad de instalaciones de carga que hayan sido programadas para proporcionar reserva
- Mal funcionamiento del dispositivo para medir monitorear o activar las cargas.

Se debe adjuntar en los informes la hora y duración de los incidentes. Esta comunicación del coordinador de despacho se hará primero por voz (telefónicamente), seguido del informe escrito por fax o correo electrónico al personal del centro de control del agregador.

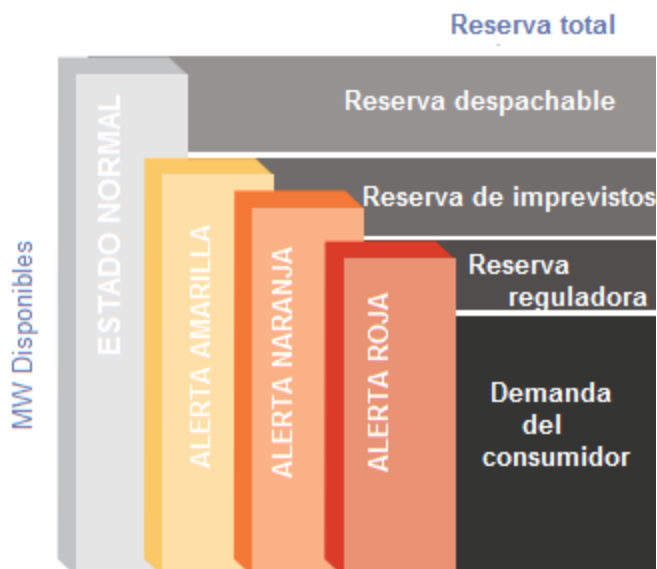
Es importante tener en cuenta que cliente participante no tendrá derecho a ninguna compensación en caso de realizar interrupción de carga sin recibir instrucciones del agregador o realiza la interrupción de carga fuera de las horas de descarga según lo acordado. A menos que sea instruido de otra manera por agregador a través de comunicación por medio telefónico, SMS, fax y/o correo electrónico(NGCP, 2014).

La empresa prestadora del servicio de energía al percatarse que hay una deficiencia anticipada de suministro de energía, emite diferentes tipos de señales de evento a los usuarios que podemos ver en la tabla III.

TABLA III. TIPOS DE ALERTAS DE DEFICIENCIA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Alerta	Indicación
Alerta normal (blanca)	Se mantiene cuando se está trabajando dentro de los límites normales de operación de Frecuencia del Sistema, Voltaje
Alerta amarilla	Cuando reserva para imprevistos es menor que la capacidad de la Unidad Generadora Sincronizada más grande
Alerta de naranja	Se da cuando la reserva para imprevistos está disminuyendo
Alerta roja	En caso que la reserva para imprevistos sea cero o existan contingencias en la generación

Figura 11 . Tipos de alertas del PCI de Meralco



Fuente: (Meralco, 2015)

Los clientes reciben llamadas del agregador Meralco para proporcionar el tiempo suficiente de preparación siempre que haya indicios de escasez de energía. Los procedimientos que se llevan a cabo son los siguientes, dependiendo del tipo de alerta que se genere:

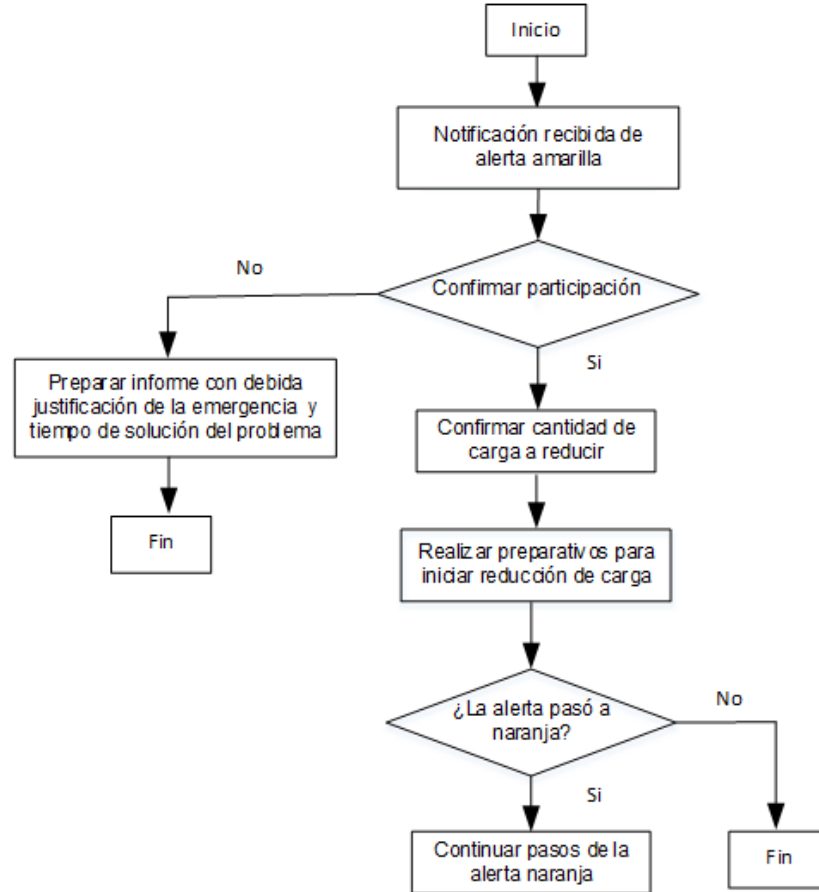
Nivel de alerta amarillo: significa que el cliente debe prepararse para una posible activación del Programa de carga interrumpible.

El agregador se pone en contacto con los representantes autorizados de los clientes a través de una llamada telefónica móvil, SMS y correo electrónico. Luego de la alerta los clientes deben indicar inmediatamente su intención de participar y la capacidad de carga que están dispuestos a disminuir. El sistema de Call Center de Meralco reconocerá rápidamente todas las respuestas de los clientes.

El cliente debe empezar a realizar todos los preparativos necesarios para reducir su carga y operar sus grupos electrógenos una vez notificados. En algunos casos donde el cliente no pueda reducir su carga debido a razones de emergencia, se debe proporcionar razones válidas por las que no se puede participar del evento y un tiempo estimado cuando se espera resolver el problema. MERALCO documenta estos detalles y los incluye en los informes presentados periódicamente a la Comisión Reguladora de la Energía (ERC).

Para tener una mejor comprensión de los pasos realizados cuando se tiene un nivel de alerta de amarillo se muestra a continuación un diagrama de flujo del procedimiento.

Figura 12 . Diagrama de flujo para la alerta amarilla



Fuente: Elaboración propia

Nivel de alerta que progresa de amarillo a naranja o rojo: Si después de una alerta amarilla empeoran las condiciones de la red; se activara el nivel de alerta naranja o rojo, por tanto el programa de interrupción de carga se activará de la siguiente manera.

El agregador se pone en contacto con los representantes autorizados de los clientes a través de una llamada telefónica móvil, SMS y correo electrónico. Los clientes deben confirmar su participación respondiendo a la llamada telefónica, SMS o correo electrónico.

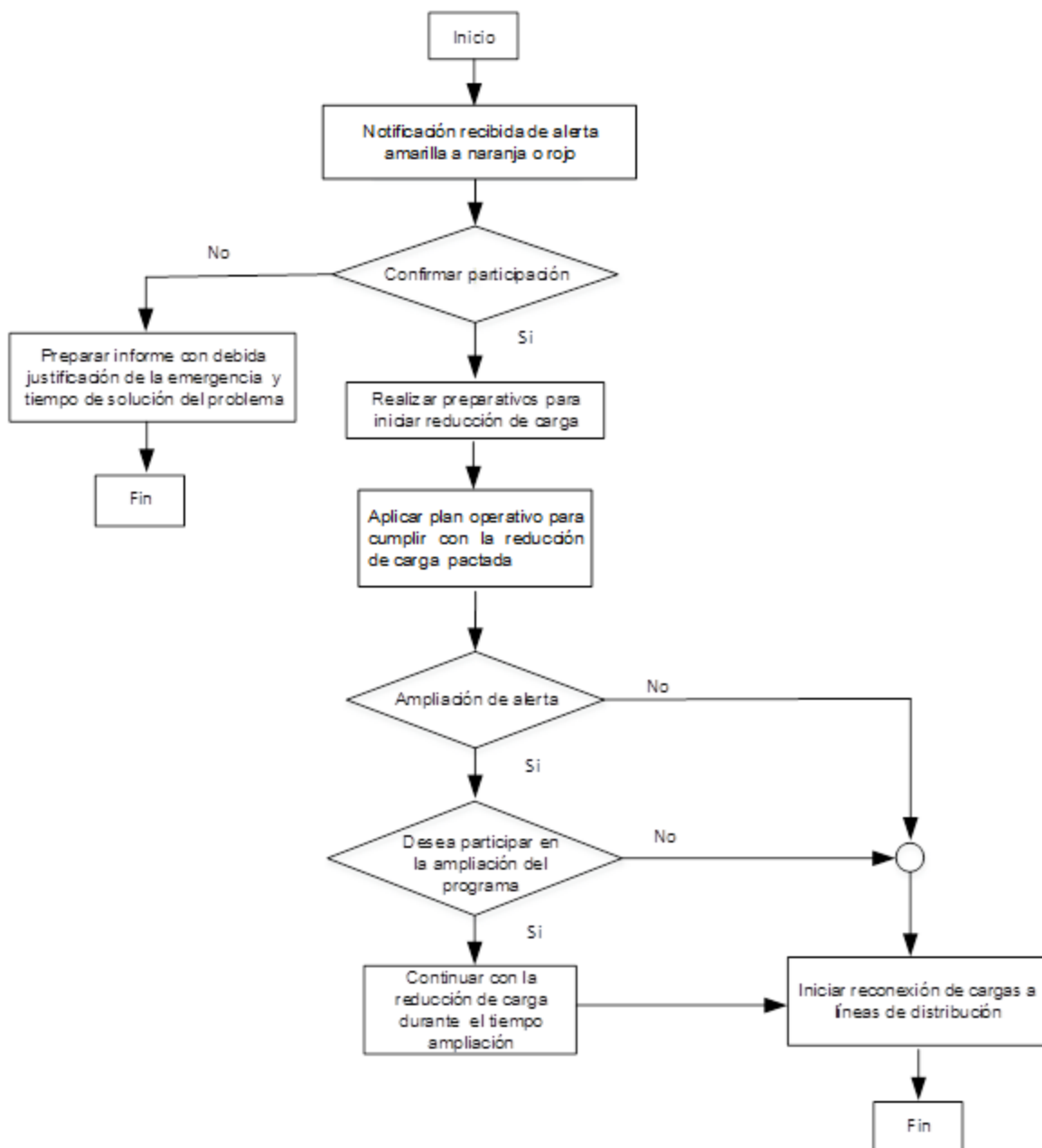
Una vez notificados, los clientes deben hacer todos los preparativos necesarios para reducir su carga y operar su grupo electrógeno y empezar a autoabastecer sus instalaciones. Luego de la notificación el cliente debe tener un plan para gestionar sus cargas en el horario acordado con anterioridad y según lo recomendado por el operador de red.

Una vez finalizado el tiempo de reducción y/o interrupción programado, los usuarios pueden comenzar a conectarse nuevamente a las líneas de distribución.

En situaciones imprevistas en las se amplía el estado de alerta en rojo, el operador de red puede solicitar a los clientes que amplíen el programa de interrupción de carga más allá del período de descarga inicial acordado. En tal caso, el centro de llamadas del operador de red enviará otro conjunto de notificaciones para alertar a los clientes de que es necesario extender el período de descarga. Este evento adicional es voluntario y el cliente tiene la opción de continuar o no la reducción de su carga durante el período de extensión acordado.

Para tener una mejor comprensión de los pasos realizados cuando se tiene un nivel de alerta de amarillo que pasa a naranja o rojo se muestra a continuación un diagrama de flujo del procedimiento.

Figura 13 . Diagrama de flujo de alerta amarilla que pasa a naranja o roja



Fuente: elaboración propia

Nivel de alerta naranja o rojo (NARANJA SÚBITA O ALERTA ROJA): En casos donde las contingencias de la red alcancen inmediatamente el nivel de alerta naranja o rojo, el programa de interrupción de carga se activará de la siguiente manera.

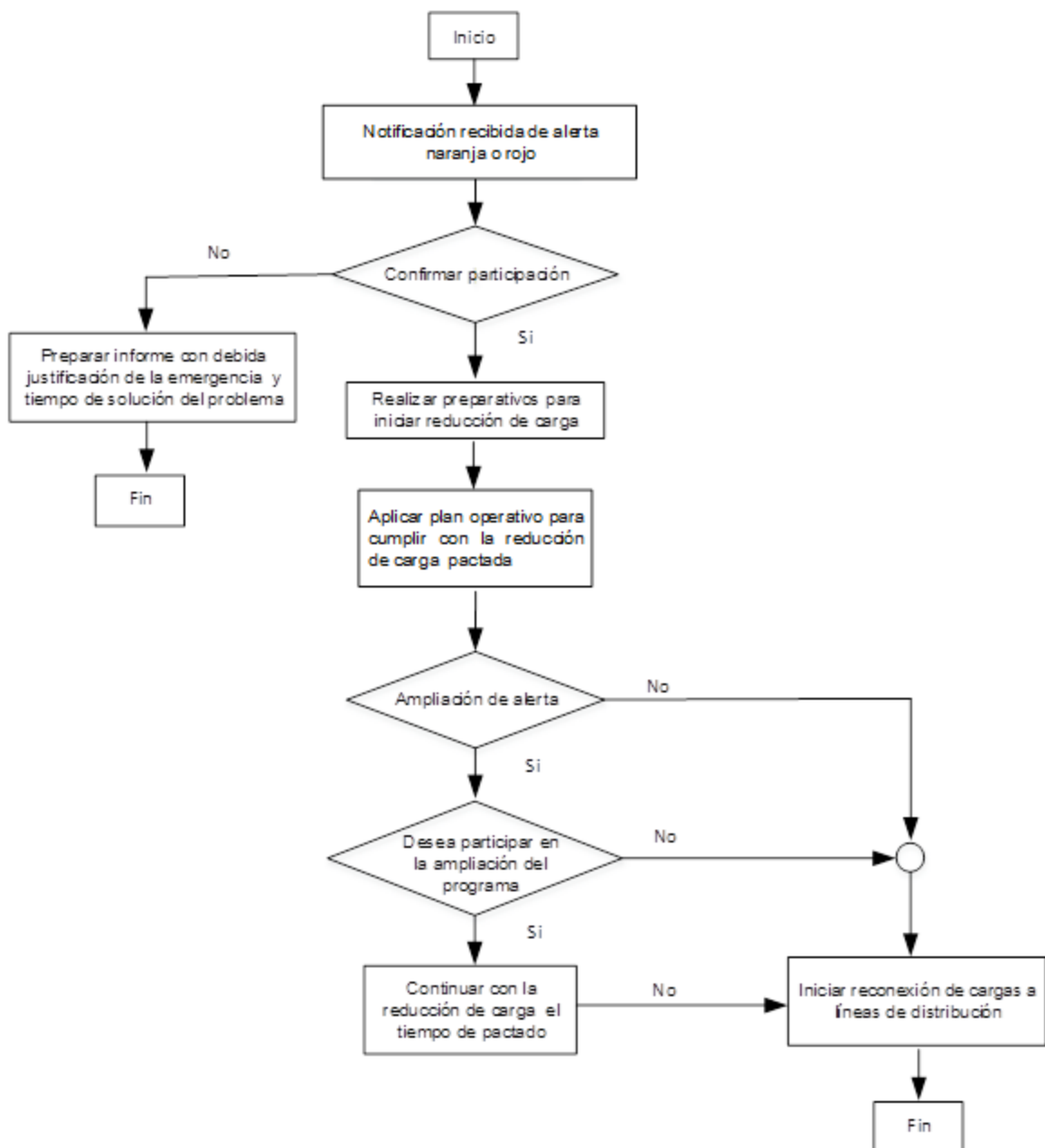
El centro de llamadas del agregador sólo proporcionará una notificación durante la activación de PCI de Emergencia. Esta notificación del evento que incluye el tiempo para la desconexión, sirve como notificación final y se espera que los clientes gestionen sus cargas y reduzcan el consumo de energía eléctrica de la red en este período especificado. El plan de gestión de carga debe ejecutarse una vez se reciban las instrucciones de la notificación del evento de emergencia por parte del centro de llamadas de Meralco.

Una vez finalizado el tiempo de reducción y/o interrupción programado, los clientes pueden comenzar a conectarse de nuevo a las líneas de distribución.

En caso de que se amplíe la activación del PCI de emergencia, el centro de llamadas del operador de red enviará otro conjunto de notificaciones para alertar a los clientes de que es necesario extender el período de descarga. Este evento adicional es voluntario y el cliente tiene la opción de continuar o no la reducción de su carga durante el período de extensión acordado.

Para tener una mejor comprensión de los pasos realizados cuando se tiene un nivel de alerta que llega directamente a naranja o rojo se muestra a continuación un diagrama del procedimiento.

Figura 14 . Diagrama de flujo de alerta naranja o roja súbitas



Fuente: elaboración propia

2.3.1.5 Compensación de los clientes

- a) Los clientes reciben una carta de conformidad del agregador informando de su capacidad real de interrupción y la compensación correspondiente. Esta carta de conformidad se entregará a los clientes dentro de siete días hábiles (en cualquier momento entre el lunes a viernes, de 8 a.m. a 5 p.m.) después del día de medición.
- b) Se solicita a los clientes que validen el contenido de la carta de conformidad. Los representantes autorizados de los clientes deben colocar su firma en la carta. El documento firmado debe ser devuelto al operador de red dentro de ocho días hábiles a partir del día en que se recibió la carta.
- c) Meralco realiza el pago de la compensación de descarga en un plazo de 30 días calendario a partir de la recepción de la carta de conformidad firmada.
- d) Una vez recibida la indemnización se solicita a los clientes que entreguen un recibo al operador de red
- e) La compensación por participar en un evento se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{\text{Tasa incremental por interrupción}}{\text{kWh}} \times \text{Compensación por kWh} \right) + \frac{\text{Costos de mantenimiento}}{\text{kWh}} = \frac{\text{Compensación por interrupción}}{\text{kWh}}$$

Donde

Compensación por kWh: es la cantidad estimada de carga reducida por cliente durante la activación de PCI. Se calcula obteniendo la diferencia entre el kWh estimado y el kWh medido real durante la activación del PCI.

El kWh estimado se basará en la forma de la línea de carga d base del perfil de carga del cliente si no se hubiese descargado. Esta **línea de carga base** representa el movimiento esperado de consumo del cliente durante sus operaciones diarias normales. Está representada por un perfil de carga típico de 24 horas que se deriva del consumo diario histórico del cliente de los últimos 12 meses anteriores a la firma del contrato.

Tasa incremental por interrupción: es la diferencia entre el combustible consumido y la tasa promedio del cliente participante. Se calcula con la siguiente formula

$$\left(\text{Costo de combustible de generacion} \times \text{Tasa de consumo de combustble} \right) + \frac{\text{Tasa promedio del cliente participante}}{\text{participante}} = \text{Tasa incremental por interrupción}$$

Costo de Combustible de Generación: es el precio promedio del combustible diésel de diferentes distribuidores al final del mes, en la ciudad o municipio donde se encuentra el cliente participante.

Tasa de consumo de combustible: es la tasa de consumo de combustible que se establece en 0,34 L / kWh.

Tasa promedio del cliente participante: es el costo promedio del kWh en el período de facturación actual del cliente participante. Estos datos provienen directamente de su operador de red.

Costo de mantenimiento: es el costo para compensar la depreciación por el uso de la planta generadora del cliente durante la activación de PCI. El costo de mantenimiento se fija en 0.0064 Dólares/kWh o 480 dólares por mes, lo que sea menor.

- f) Para recibir la compensación los clientes deben haber confirmado su participación en el evento del programa de carga interrumpible. la confirmación solo se realiza a través del centro de llamadas de Meralco para que sea considerada como oficial.
- g) No se compensa la capacidad descargada más allá del período acordado, a menos que haya una notificación oficial para participar en el período de extensión y los clientes confirmen su intención de participar en el mismo.

3 METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR UN ALGORITMO APLICADO EN PROBLEMAS DE FORMULACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Un algoritmo es un conjunto de instrucciones que especifican la secuencia ordenada de operaciones a realizar para resolver un problema. En otras palabras, un algoritmo es un método o fórmula para la resolución de un problema. Un algoritmo es independiente tanto del lenguaje de programación en que se exprese como en el ordenador en el que se ejecute (Rodríguez, 2002).

Por lo general tiene las características de ser preciso y fácil de comprender al momento de indicar el orden de realización de cada paso, además de esto debe ser predecible, ósea que partiendo de condiciones iniciales iguales, se debe obtener siempre el mismo resultado y por ultimo debe ser finito lo que indica que el algoritmo debe un final.

Los programas de respuesta de la demanda requieren que el usuario tenga un plan de respuesta que le permita tomar decisiones en la operación de sus cargas en el momento indicado y que les permita beneficiarse de los incentivos del PRD (Albadi & El-Saadany, 2008) y de esta manera atender efectivamente los eventos enviados por la empresa prestadora del servicio de energía disminuyendo el consumo de potencia durante un tiempo determinado. Para cumplir con los requerimientos se debe seguir una metodología de solución de problemas y una metodología para el diseño del algoritmo(Aguilar, Rodriguez, & Fernández, 2000).

3.1 Metodología de solución de problemas

Método es definido como "el conjunto de operaciones ordenadas con que se pretende obtener un resultado"(Larousse, 2017). La metodología es la ciencia que aplica este método. Inconscientemente la metodología de solución de problemas es aplicada constantemente en la vida diaria.

La metodología para la solución de los problemas consta de cinco etapas que permiten llegar a la correcta solución, estas etapas son: identificación del problema, planteamiento de alternativas de solución, elección de una alternativa, desarrollo de la solución y evaluación de ésta.

3.1.1 Identificación del problema

Identificar el problema es una fase muy importante en la metodología pues un problema bien delimitado permitirá que el proceso general avance con fluidez, contrario a un problema mal definido que provocará desvíos conceptuales que serán difíciles de remediar posteriormente y en muchas ocasiones se deberá incluso

replantear todo el proceso. En esta etapa es fundamental el análisis de la información inicial o de entrada, con el fin de diferenciar los datos importantes de los que no lo son, verificando que sean suficientes para llegar a la solución del problema. También deben definirse los datos de salida que garanticen la continuidad del proceso para que sea más fácil eliminar las expectativas negativas.

3.1.2 Planteamiento de alternativas de solución

Después de definir el problema y del análisis de los datos de entrada y salida, se debe continuar con un análisis de las alternativas de solución. Por lo general un problema puede solucionarse de diferentes maneras, por tanto es útil tratar de plantear la mayor cantidad de alternativas posibles de solución aumentando así las probabilidades de encontrar la más óptima. Aunque un elevado número de alternativas de solución puede ocasionar confusiones y demoras al momento de escoger la mejor opción, por tanto se deben utilizar las que estén mejor enfocadas.

3.1.3 Elección de una alternativa

Después de tener una listado de alternativas de solución, se debe seleccionar la mejor entre todas las posibilidades. Este paso es muy importante porque de la elección realizada depende el avance final hasta la solución, si la decisión no es acertada, será necesario retroceder en los pasos de la metodología para encontrar una que cumpla con los requerimientos.

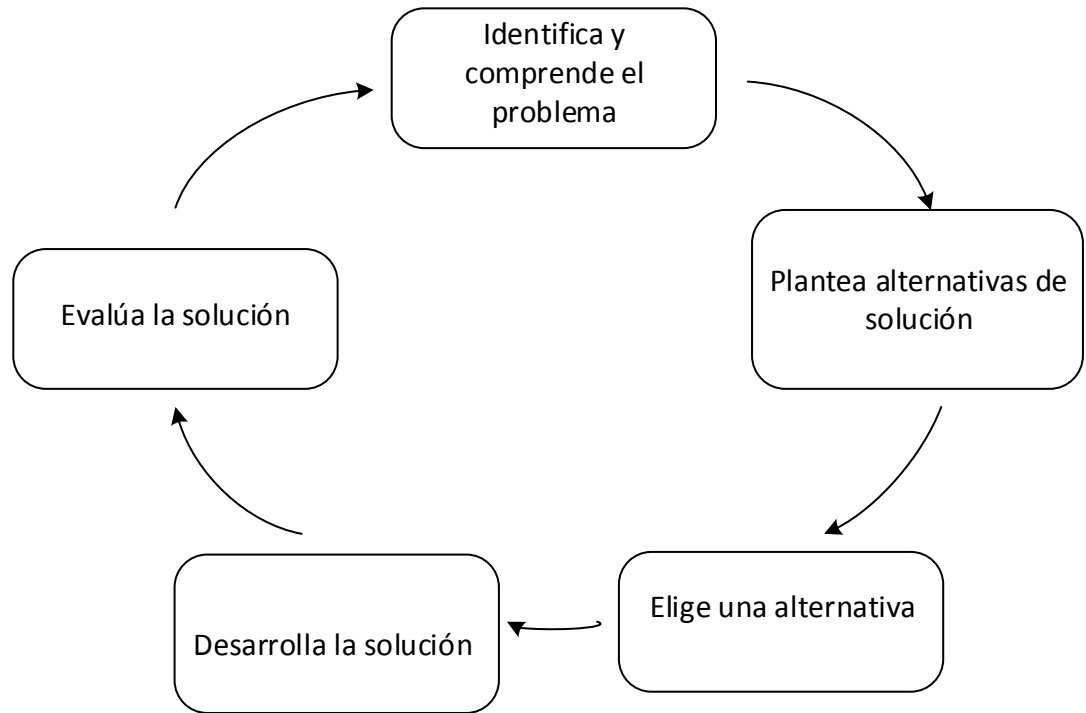
3.1.4 Desarrollo de la solución

Después de definir la alternativa final, se llega a la etapa de solución. En esta fase, a partir de los datos relacionados con la alternativa seleccionada, se aplican las operaciones necesarias para solucionar el problema. Estas operaciones al igual que las alternativas de solución deben buscar el camino más corto para llegar a la solución. Si la alternativa es la óptima, llevará a la solución deseada que fue prevista en la identificación del problema.

3.1.5 Evaluación de la solución

Luego de haber desarrollado la solución debe ser evaluada. La evaluación consiste en determinar que la solución obtenida es la esperada comprobando que el resultado sea correcto. En esta fase se deben mejorar y optimizar los procesos realizados, pues el algoritmo más eficiente en la solución de un problema es el que llega a su objetivo final con la mayor economía posible de procedimientos .

Figura 15 . Metodología de solución de problemas



Fuente : (Rodríguez, 2002).

3.2 Metodología para diseñar un algoritmo

Para diseñar un algoritmo se debe seguir la siguiente metodología (Aguilar et al., 2000):

1. Identificar las actividades más importantes requeridas para dar solución al problema
2. Definir el orden en que deben ser ejecutadas las actividades.
- 3 Evaluar, rediseñar y complementar las actividades para que sean lo más específicas posible. El objetivo será tener un algoritmo claro, preciso y completo.
4. Se deben tener en cuenta 3 consideraciones para el diseño de un algoritmo por etapas.

Primero: La información dada al *algoritmo o entradas*.

Segundo: el proceso, son las *operaciones y cálculos* necesarios para llegar a la solución de problema planeado.

Tercero: la salida, se refiere a las *respuestas o resultados finales* obtenidos por el algoritmo después del proceso.

3.3 Verificación del algoritmo

Después de realizar un algoritmo se debe *verificar su funcionamiento* y comprobar que ejecuta las tareas para las que fue diseñado además de entregar un resultado correcto. La mejor forma de comprobar un algoritmo es:

Realizar una verificación de forma manual *usando datos significativos* en las entradas y siguiendo el proceso paso a paso en una hoja de papel con las modificaciones que ocurren en sus operaciones hasta llegar a la fase final de los resultados (Aguilar et al., 2000)

3.4 Métodos de solución para el algoritmo

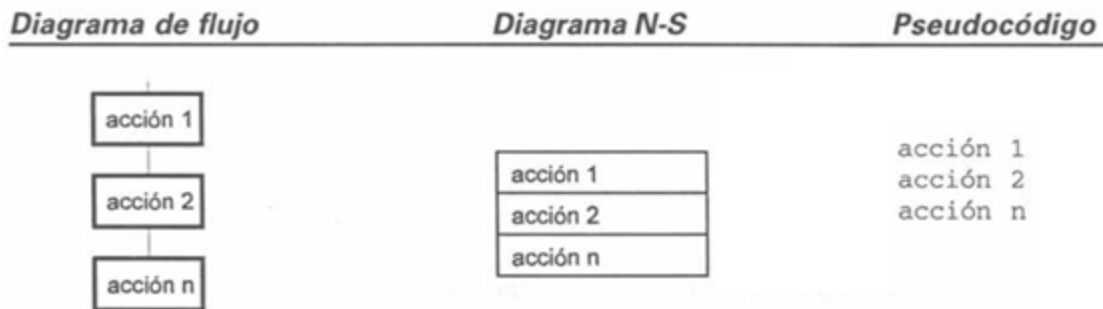
En la solución del algoritmo para generar alternativas de gestión de un cliente no regulado en un programa de respuesta de la demanda será necesario evaluar diferentes opciones a partir de los datos de entrada y decidir las acciones más indicadas para generar los resultados óptimos y deseados. Se considera que las estructuras de control pueden contener las instrucciones necesarias que lleven a la solución deseada.

Las estructuras de control son arreglos que ejecutan las instrucciones de un programa o algoritmo. La forma de tomar decisiones en un programa es a través de las estructuras de control. Estas pueden clasificarse también como:

3.4.1 Estructuras secuenciales

Se caracterizan porque las instrucciones se van ejecutando una tras otra en el orden que se han interpuesto

Figura 16 . Diagramas de flujo de las estructuras secuenciales



fuente: fundamentos de programación (aguilar et al., 2000).

3.4.2 Estructuras condicionales

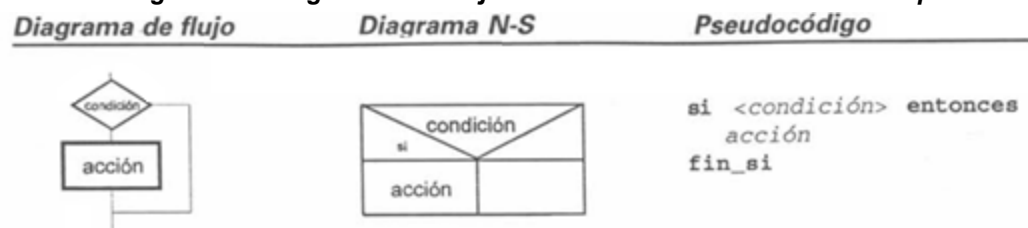
Se usan en un algoritmo cuando se quiere indicar que cierta acción sólo se debe ejecutar bajo cierta condición. Permiten alterar el orden secuencial en que se realizan las acciones del algoritmo en función de una condición.

Existen tres tipos básicos:

3.4.2.1 Condicional simple:

Esta estructura evalúa la condición, si esta es verdadera, efectúa la o las instrucciones. Estas estructuras presentan la siguiente forma:

Figura 17 . Diagramas de flujo de la estructura condicional simple

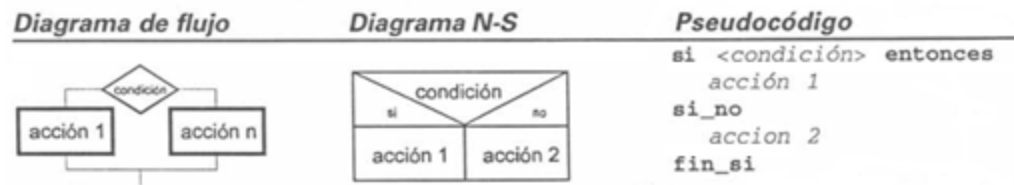


fuente: fundamentos de programación (aguilar et al., 2000).

3.4.2.2 Condicional Doble:

Esta estructura permite elegir entre dos opciones o alternativas posibles en función del cumplimiento o no de la condición.

Figura 18 . Diagramas de flujo de la estructura condicional doble

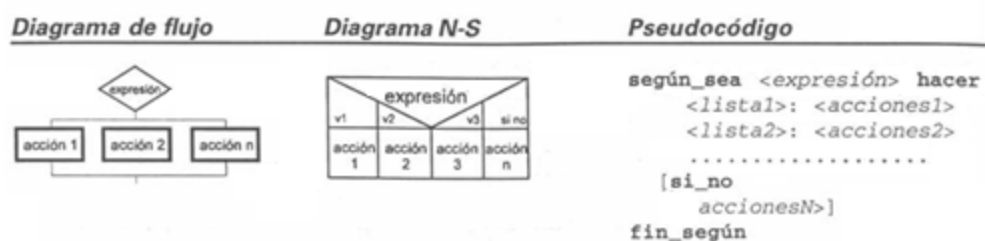


fuelle: fundamentos de programación (aguilar et al., 2000).

3.4.2.3 Condicional múltiple

Esta estructura es usada cuando se requiere ejecutar una acción escogiendo entre varias opciones dependiendo del valor de una determinada variable o indicador. Permite comparar una variable contra distintos posibles resultados, ejecutando para cada caso una serie de instrucciones específicas.

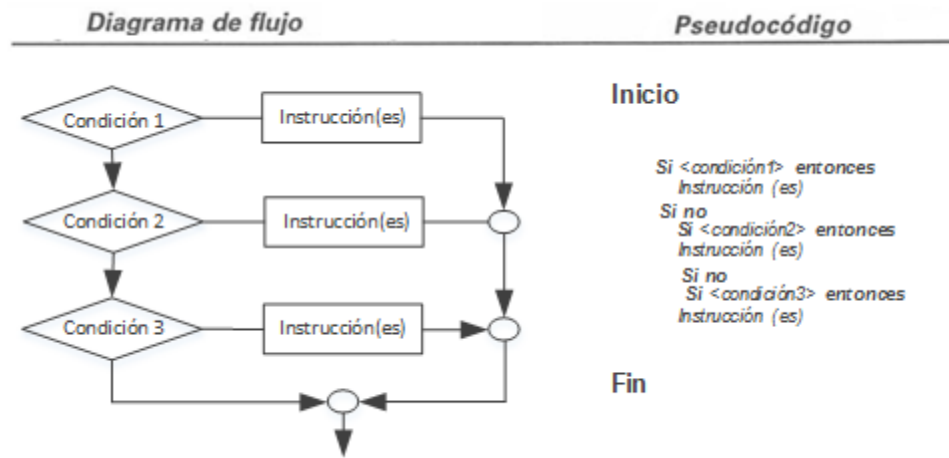
Figura 19 . Diagramas de flujo con estructura condicional múltiple



fuelle: fundamentos de programación (aguilar et al., 2000).

El condicional múltiple puede tener la forma (si - si no – si). Se realizan instrucciones específicas dependiendo directamente del cumplimiento de una condición asociada. Si no se cumple la condición, continua con la siguiente y solo realiza la instrucción de la variable cuya condición asociada sea cumplida.

Figura 20 . Diagramas de flujo con estructura condicional múltiple si - si no – si

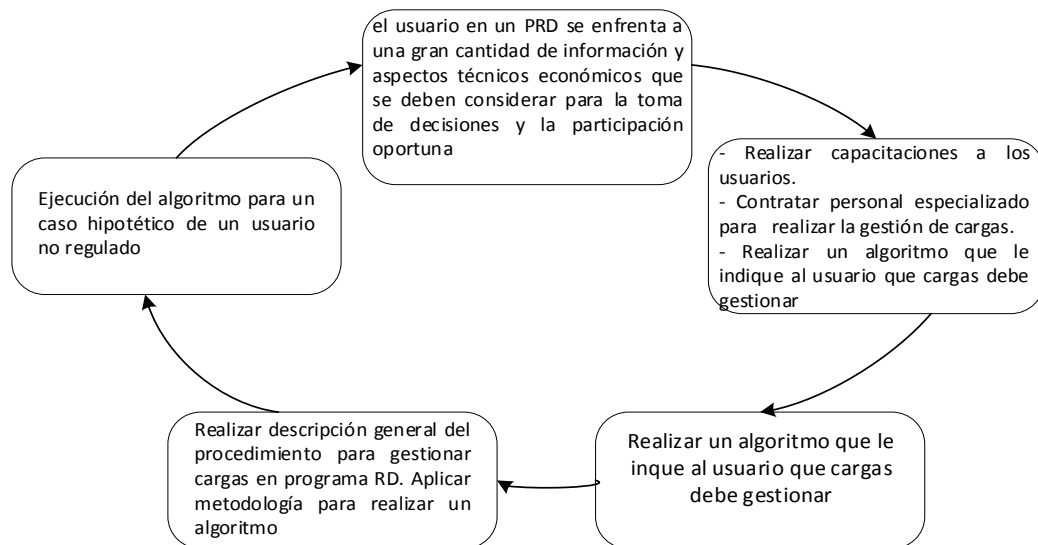


fuelle: fundamentos de programación (aguilar et al., 2000).

4 ALGORITMO PARA LA GESTIÓN DE CARGA EN UN PROGRAMA DE CARGA INTERRUPTIBLE

Tomando en cuenta la metodología de solución de problemas mencionada en el capítulo anterior se realizó un proceso que consta de cinco etapas, identificación del problema, planteamiento de alternativas de solución, elección de una alternativa, desarrollo de la solución y evaluación de ésta. El problema al que se enfrenta un usuario no regulado al procesar gran información que interviene en el PRD y a los aspectos técnicos económicos que se deben considerar para la toma de decisiones se resolvió seleccionando la alternativa de realizar un algoritmo que le indique al usuario las cargas que debe gestionar como se muestra en la figura 21.

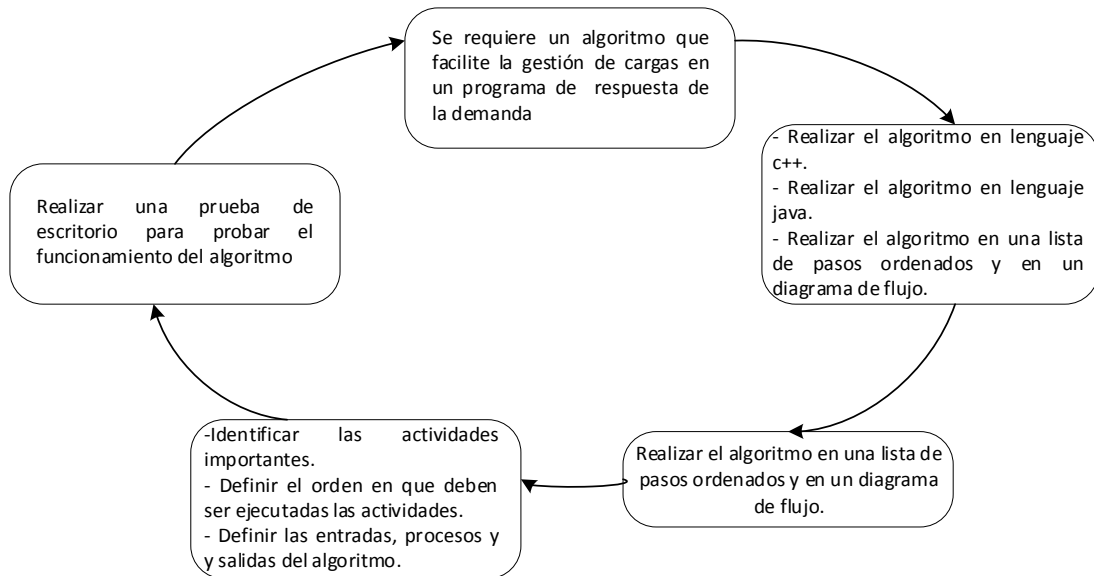
Figura 21 . Metodología de solución del problema al usuario no regulado



Fuente: Elaboración propia

Se aplicó también en la figura 22 misma la metodología para la alternativa de realizar un algoritmo que facilite la gestión de cargas de un PRD encontrada en el paso anterior. Se optó por realizar un algoritmo en una lista de pasos ordenados y un diagrama de flujo como mejor solución.

Figura 22 . Metodología de solución de problemas para el algoritmo



Fuente: Elaboración propia

4.1 Procedimiento general de un PRD de interrupción de carga

Los programas de respuesta de la demanda requieren que el usuario tenga un plan de respuesta que genere los mayores ahorros, además de poder tomar decisiones en la operación de sus cargas en el momento indicado. A continuación se muestra el procedimiento general que se realiza en un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible:

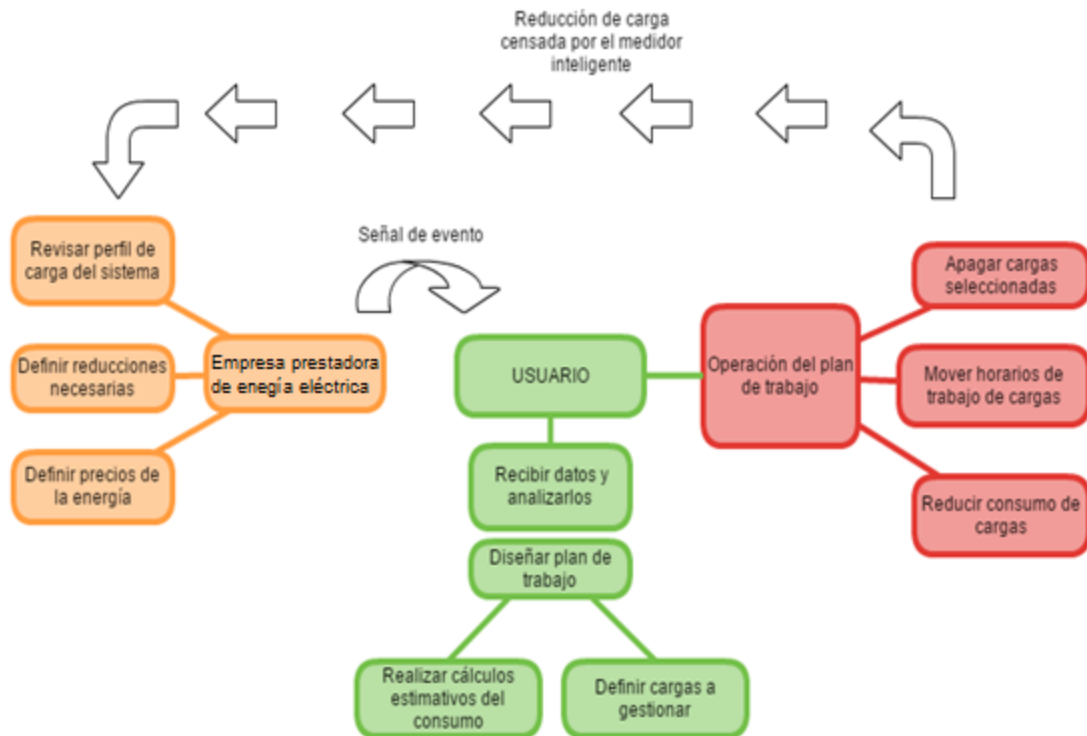
La empresa prestadora de servicio envía una señal de evento al usuario no regulado, el cual debe recibir los datos de la cantidad de carga a reducir, el horario de inicio del evento y la duración que tendrá. Realizar su análisis teniendo en cuenta las diferentes cargas que posee y el horario en el cual son utilizadas para tener un plan de gestión de cargas que le permita responder de manera oportuna ante el evento, definiendo la carga que se trasladará de horario de uso y/o la carga que se reducirá durante el evento pero que no es trasladada, por ejemplo aires acondicionados e iluminación. Se realizan los cálculos estimativos del consumo que se tendrá con las modificaciones a realizar y se valora si se está cumpliendo con los objetivos de reducción de carga de la señal enviada por la empresa de energía eléctrica. En caso de contar con Autogeneración o sistemas de almacenamiento de energía el usuario debe calcular si está en capacidad de autoabastecer toda o parte de la carga solicitada en el evento.

De esta manera teniendo una opción de cumplimiento del objetivo, el usuario procede a efectuar los cambios pertinentes en el proceso de la empresa, a fin de

tener la reducción de carga necesaria y confirmar su participación en el PRD. La confirmación de la reducción se hace con los datos del medidor inteligente y son enviados a la empresa prestadora del servicio de energía mediante una señal que le indique si la reducción de carga que solicitó en un principio se ha realizado.

Cómo se puede observar, el usuario se enfrenta a una situación que debería ser sistematizada debido a la cantidad de información que interviene y a los aspectos técnicos económicos que se deben considerar para la toma de decisiones.

Figura 23 . Flujo general de un PRD de interrupción de carga



Fuente: Elaboración propia

En este trabajo de grado se propone un algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado ante un programa de respuesta de la demanda. Las particularidades de los diferentes software que se mencionaron anteriormente se utilizaron como guía para desarrollar el algoritmo. Este tipo de tecnología es muy costosa, por tanto el algoritmo deberá tener características de aplicación manual para que sea el usuario quien gestione las cargas, dejando a un lado los procesos de gestión de carga automatizados. Se debe buscar la forma de interactuar con el usuario, de manera que sea él mismo quien pueda seleccionar la alternativa de gestión que más le convenga y ejecutar el procedimiento de disminución de carga que el algoritmo propone.

El procedimiento realizado por el algoritmo para generar las alternativas de gestión de carga empieza con las señales de eventos del programa de respuesta de la demanda enviado por parte de la empresa prestadora del servicio de energía eléctrica, ya sea por una notificación física o correo electrónico, luego de esto se deben introducir los parámetros de entrada del algoritmo para que mediante una serie de pasos ordenados y establecidos se puedan definir las alternativas de gestión de carga. Se debe hacer un análisis económico de la compensación económica que se va a obtener después de participar en el evento del PRD de carga interrumpible. Se puede decir que el resultado de participar en el evento es positivo cuando la compensación económica sumado a las ganancias de producción después de participar en el evento son mayores las ganancias de producción que tendría la empresa sin participar en el evento. Luego de esto se entrega el reporte con las respectivas alternativas de gestión de carga y su análisis económico para que el usuario pueda determinar cuál alternativa de gestión ejecutará.

Para el diseño del algoritmo se debe comenzar por identificar las actividades mas importantes requeridas para dar solución al problema de generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado ante un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible y definir el orden en que deben ser ejecutadas. Luego se deben tener en cuenta las consideraciones de *entradas, proceso y salidas* para el diseño de este algoritmo.

4.2 Requerimientos y modulos funcionales de la solución propuesta

Tareas importantes para resolver

1. Generar alternativas de gestión de carga
2. Mostrar la utilidad económica generada con cada alternativa

Las especificaciones de entrada del algoritmo se realizaron pensando en las preguntas ¿Qué datos son necesarios para resolver el problema? y ¿Qué información se espera tener al solucionar el problema?, además en la búsqueda del procedimiento para llegar a la solución del problema se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Capacidad de reducción de carga máxima (kW) comprometida mensualmente o por el periodo del contrato ejemplo semestral
- Tiempo máximo de la reducción comprometida de carga (horas x día)
- Antelación con que se recibe la señal del evento (Día anterior o el mismo día)

- Incentivo económico por inscribirse al programa (\$ mensuales o semestrales)
- Incentivo económico por participar en un evento de reducción de carga por debajo de una línea base (\$ por kW).
- Tipo de programa de respuesta de la demanda que va a manejar el usuario no regulado (programa de carga interrumpible)
- Tipo de maquinaria que maneja el usuario, donde se especifican el consumo, tiempo de funcionamiento y horario de trabajo de los equipos.
- Empresas con autogeneración; cuando un cliente no regulado en un programa de respuesta de la demanda está en capacidad de generar total o parcialmente el consumo de su negocio. Este caso permitiría al usuario cumplir con el consumo de potencia de reducción pactada con el operador de red o una parte de él utilizando su equipo de autogeneración (Turbinas Eólicas, paneles fotovoltaico, turbogeneradores, Etc.), esta potencia de autogeneración debe ser tomada en cuenta al momento de realizar el cálculo con el algoritmo.
- Orden de salida de las cargas gestionables
- Nivel de confort en gestión de cargas.

4.2.1 Orden de salida de las cargas gestionables

Para realizar el proceso de gestión de cargas se debe llevar un orden de salida para la desconexión o interrupción de las máquinas o equipos; aquí se presenta el concepto de **índice de flexibilidad** que es una calificación numérica de 1 a 5. Sirve como referencia para saber el posible orden de desconexión más óptimo, con el cual el proceso productivo de la empresa se verá menos afectado. El índice de flexibilidad debe ser escogido con la asesoría de una persona que conozca del proceso productivo de la empresa y de esta manera tener un mejor criterio basado en el conocimiento previo de las actividades y el funcionamiento de la fábrica.

Índice de flexibilidad 5: Esta categoría contiene los equipos que al ser desconectados afectan niveles de confort del operario sin llegar a comprometer las metas finales de la cadena de producción de la empresa o de una parte del proceso productivo. Los equipos que tengan cinco estrellas en la calificación del índice de flexibilidad son desconectados como primera opción para cumplir con la cantidad de carga solicitada por el operador de red para desconexión.

Índice de flexibilidad 4: Esta categoría contiene las máquinas que al ser desconectados afectan temporalmente el proceso de producción, sin embargo pueden ser reprogramadas en otro horario de manera que las metas finales de

producción no se ven afectadas. Son el tipo de máquinas que permiten desplazar el consumo a otros horarios. Los equipos que tengan cuatro estrellas en la calificación del índice de flexibilidad son desconectados justo después de agotar la desconexión de todas las maquinas con índice de flexibilidad 5, son la segunda opción para cumplir con la cantidad de carga solicitada por el operador de red para desconexión.

Índice de flexibilidad 3: Esta categoría contiene las máquinas que al ser desconectadas pueden afectar toda la cadena de producción de la empresa pero dependiendo de la duración del evento y la reprogramación de actividades, las metas finales de producción no se ven significativamente afectadas, este tipo de cargas son menos flexibles para ser desconectadas. Los equipos que tengan tres estrellas en la calificación del índice de flexibilidad son desconectados justo después de agotar la desconexión de todas las maquinas con índice de flexibilidad 4, son la tercera opción para cumplir con la cantidad de carga solicitada por el operador de red para desconexión.

Índice de flexibilidad 2: Esta categoría contiene las máquinas que al ser desconectadas afectan la cadena de producción de la empresa y las metas finales de producción pueden verse reducidas significativamente en comparación al caso donde no se presenta la interrupción de la máquina, en este tipo de cargas el beneficio económico obtenido por reducción del consumo de energía debe ser igual o mayor al valor económico que se deja de percibir por la afectación de la producción de la a empresa. Esta situación ocurre en casos especiales y deben ser estudiados puntualmente. Los equipos que tengan dos estrellas en la calificación del índice de flexibilidad deben ser desconectados justo después de agotar la desconexión de todas las maquinas con índice de flexibilidad 3, son la cuarta opción para cumplir con la cantidad de carga solicitada por el operador de red para desconexión.

Índice de flexibilidad 1: Esta categoría contiene las máquinas que al ser desconectadas afectan la cadena de producción de la empresa y las metas finales de producción son reducidas significativamente. Los equipos que tengan una estrella en la calificación del índice de flexibilidad no deben ser desconectados por tanto no son una opción para cumplir con la cantidad de carga de desconexión solicitada por el operador de red.

4.2.2 Nivel de confort en la de gestión de cargas:

Las opciones de gestión de carga estarán directamente ligadas con el confort que se esté manejando en la empresa y su nivel de confort depende del uso de los aires acondicionados y la iluminación de la fábrica. Por motivos de seguridad se asume

que el nivel más bajo de iluminación que se puede tener por norma es del 70% para esta fábrica, por el contrario los equipos de aire acondicionado pueden ser desconectados completamente. El usuario debe escoger el nivel de confort que desea tener los cuales se han clasificado de la siguiente manera para este trabajo de grado.

Nivel de confort alto: en este nivel se cuenta con iluminación entre 100% y 90% y aire acondicionado entre 100% y 70%. La potencia consumida es más de la necesaria para tener un ambiente seguro en relación con la iluminación y climatización, en este nivel se obtiene mayor comodidad.

Nivel de confort medio: se cuenta con iluminación entre 90% y 80% y aire acondicionado entre 70% y 40%. La potencia consumida asegura que la iluminación y climatización brindan una comodidad moderada.

Nivel de confort bajo: en este nivel se cuenta con iluminación entre 80% y 70% y aire acondicionado entre 40% y 0%. La potencia consumida se reduce al mínimo para un ambiente de iluminación y climatización mínimos que no brindan ninguna comodidad pero no es imposible realizar algún tipo de trabajo en estas condiciones

Se describe a continuación las consideraciones de entradas y salidas para el diseño del algoritmo.

Entradas

- Perfil de consumo total
- *Potencia de reducción pactada:* Es la demanda máxima que se puede reducir por parte del usuario y fue pactada con el operador de red al momento de realizar el contrato del PRD de carga interrumpible.
$$Potencia\ de\ reducción\ pactada = (Potencia\ de\ reducida + potencia\ autogenerada)$$
- *Potencia solicitada:* Es la carga mínima y máxima de reducción aceptada por el operador
- Potencia máxima que se puede reducir en cada carga; la sumatoria sucesiva una a una de estas cargas que se realizara más adelante se denomina *Potencia reducida*.
- Valor del kWh de reducción durante la activación del PRD
- Horario del día en el que se usan las cargas
- Índice de flexibilidad para desconexión de las cargas
- kWh de autogeneración (si se dispone de planta de generación)
- Costo de penalización por no participar en el evento

Se asociaron también las restricciones que se deben tener

- Índice de flexibilidad de las cargas

- Consumo pactado que se debe reducir
- Mantener la producción dentro de unos límites preestablecidos
- Horarios en que se utiliza la respectiva carga

Salidas

- Generar alternativas de gestión de carga, se debe entregar un listado con las cargas que el usuario no regulado debe desconectar y el orden en el cual debe hacerlo, teniendo en cuenta un parámetro de priorización y cumplir con los requerimientos del PRD.
- Mostrar nivel de confort e iluminación afectados.
- Mostrar la compensación a obtener con cada alternativa de gestión.

4.3 Algoritmo para generar alternativas de gestión cargas de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible

Después de tener los datos importantes que debe tener en cuenta el algoritmo, sus entradas, salidas y restricciones, se procede a realizar un conjunto de pasos ordenados que debe seguir el usuario no regulado para generar alternativas de gestión de carga y tener un plan de respuesta ante los eventos que puedan ocurrir en el programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible.

1. Se recibe la notificación del operador de red, en la cual se indica la potencia que se debe reducir (*Potencia solicitada*), el horario de inicio del evento y la duración del evento.
2. Se llenarán los datos de entrada para tener la información necesaria que requiere el algoritmo para su desarrollo. Estos datos fueron especificados anteriormente en los Requerimientos y módulos funcionales de la solución propuesta.
 - Perfil de consumo total
 - Potencia de reducción pactada
 - Potencia solicitada por el operador de red
 - Valor del kWh de reducción durante la activación del PRD
 - Costo de penalización por no participar en el evento

n°	Nombre	Potencia	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad	Kw de autogeneración

3. Después de conocer la cantidad de *potencia solicitada* según la notificación del operador de red, se debe comparar con la *potencia de reducción pactada*; que se refiere a la capacidad de reducción de potencia que tiene la planta y fue acordada con el operador de red en un contrato en el momento de ingreso del usuario al programa de respuesta de la demanda. El valor de la *potencia solicitada* debe ser menor o igual a la *potencia de reducción pactada*.

$$\text{Potencia solicitada} \leq (\text{Potencia reducida} + \text{potencia autogenerada})$$

4. Una vez se ha verificado que si es posible cumplir con la reducción de *potencia solicitada*, se debe identificar las cargas que se van a desconectar. Se debe tener en cuenta las siguientes restricciones operativas para cumplir con esta tarea.

4.1 Índice de flexibilidad de las cargas; indica la importancia de la maquina en el proceso de la empresa, teniendo prioridad en la desconexión las maquinas con mayor índice de flexibilidad. Esto quiere decir que una carga con índice de flexibilidad 5 va a ser desconectada primero que una carga que tenga índice de flexibilidad 3 o 2.

4.2 Horario de uso de las carga; Es importante que las cargas que se tienen en cuenta en los cálculos estén en funcionamiento en el horario del evento del PRD.

4.3 Nivel de confort en la gestión de cargas: para obtener varias alternativas de gestión de carga se tendrán en cuenta los siguientes porcentajes de potencia en las cargas a desconectar ligadas al confort. Las cargas estan relacionadas con los aires acondicionados y la iluminación de la fábrica que por motivos de seguridad se asume no será menor a 70%

- **Nivel de confort alto:** 100% de aire acondicionado y 100% de iluminación.
- **Nivel de confort medio:** 50% de aire acondicionado y 80% de iluminación.
- **Nivel de confort bajo:** 0% de aire acondicionado y 70% de iluminación.

El algoritmo se desarrolla con cada una de las opciones de nivel de confort para generar 3 alternativas de gestión de carga.

5. Después de verificar las máquinas y equipos que cumplen con las restricciones de horario de uso, índice de flexibilidad y el nivel de confort, se deben ubicar en orden descendente las cargas de mayor potencia a menor potencia para decidir su orden de salida. De esta manera se asegura que las cargas con mayor potencia salgan primero de funcionamiento minimizando el número de máquinas y equipos que deben parar durante la reducción de carga. En las restricciones mencionadas anteriormente se dice que existen ciertas cargas con mayor

importancia que otras. Las cargas que son de mayor importancia en el proceso de producción deben salir de funcionamiento después de haber agotado la salida de las cargas con un índice de flexibilidad mayor.

Para realizar este procedimiento se deben organizar nuevamente las cargas siguiendo el mismo orden descendente que traían del paso anterior, ahora las cargas con mayor índice de flexibilidad pasaran arriba de manera sucesiva hasta llegar a las de menor índice de flexibilidad. Este segundo procedimiento hará que en las primeras posiciones queden las cargas de mayor potencia y con mayor índice de flexibilidad.

6. Luego de tener ordenadas las cargas se procede a sumar sucesivamente una a una las potencias listadas anteriormente y verificar las siguientes condiciones después de cada suma:

- Cuando la sumatoria de la *Potencia reducida* y la *Potencia autogenerada* (si posee autogeneración) sea menor al valor de la *Potencia solicitada* para reducción por el operador red.

$$Potencia\ solicitada > (Potencia\ reducida + Potencia\ autogenerada)$$

Se debe sumar la siguiente unidad en la lista de cargas de mayor a menor potencia e índice de flexibilidad para tratar de igualar este valor, es decir regresar al paso 6.

- Cuando la sumatoria de la *Potencia reducida* y la *Potencia autogenerada* (si posee autogeneración) sobrepasen el valor de la *Potencia solicitada* para reducción por el operador red.

$$Potencia\ solicitada < (Potencia\ reducida + potencia\ autogenerada)$$

Se debe restar la última carga sumada a la *Potencia reducida* y sumar la siguiente en la lista de cargas de mayor a menor potencia e índice de flexibilidad para tratar de igualar este valor, es decir regresar al paso 6.

- Cuando la sumatoria de las *Potencias reducida* y la *Potencia autogenerada* (si posee autogeneración) es igual al valor de la potencia de reducción solicitada por el operador red.

$$Potencia\ solicitada = (Potencia\ reducida + Potencia\ autogenerada) \pm 10\%$$

Se debe realizar una lista con las cargas intervenidas que permiten la reducción de potencia solicitada por el operador de red.

7. El algoritmo debe generar varias alternativas de gestión de carga por tanto se debe regresar al paso 4.3 y realizar el mismo procedimiento para los 3 niveles de confort.
8. Se hace un análisis en el cual se debe hacer un cálculo de la compensación económica recibida que se va a obtener después de participar en el evento del PRD de carga interrumpible. Se multiplica los kW de la *potencia total reducida* durante el evento por la duración y el valor del kW durante la reducción. Al realizar este análisis se pueden obtener los siguientes casos en los cuales se debe decidir qué tipo de acción se tomara.
 - Cuando las ganancias que obtiene la empresa son mayores después de participar en el evento del programa de respuesta de la demanda.

Ganancias con compensacion del evento PRD > Ganancias sin compensacion del evento PRD

Se entrega el reporte con el listado de cargas que se van a gestionar, la potencia reducida, el nivel de confort e iluminación que se están afectando y la compensación recibida.

- Cuando las ganancias que obtiene la empresa son menores después de participar en el evento del programa de respuesta de la demanda.

Ganancias con compensacion del evento PRD < Ganancias sin compensacion del evento PRD

Para este caso donde no se tiene un beneficio económico después de participar en el evento del programa de respuesta de la demanda se debe considerar si es viable participar en el evento o por el contrario es una mejor opción pagar el costo de la penalización que acarrea el incumplimiento del evento. El menor resultado de las siguientes operaciones indica el menor impacto económico y será el que determine la acción a seguir, ya sea participando en el evento sin tener beneficio económico final positivo o pagando la penalización por abstenerse de participar en el evento.

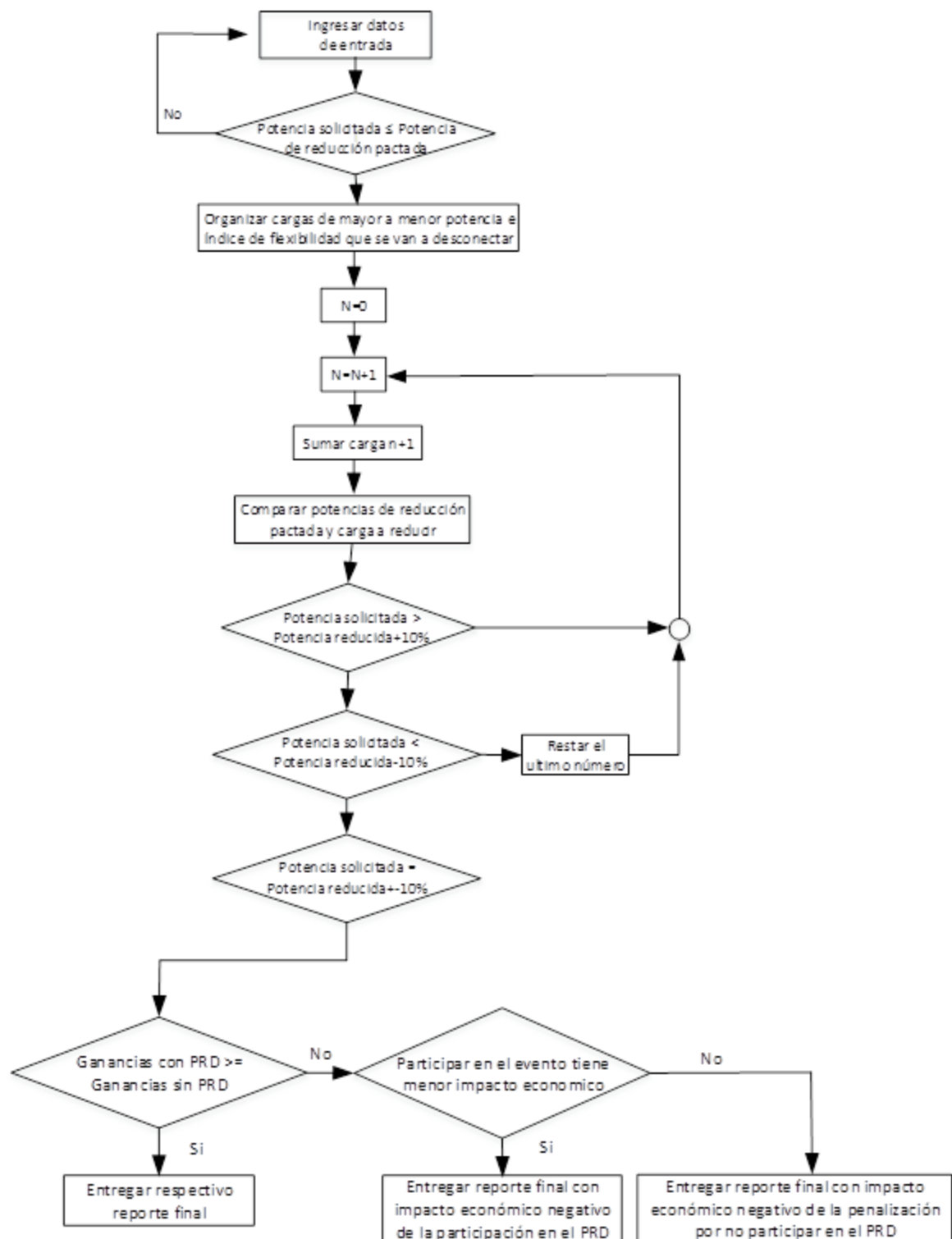
Ganancias de producción sin participación del evento PRD – Ganancias de producción con compensacion del evento PRD

Se entrega el reporte con el listado de cargas que se van a gestionar, la potencia reducida, el nivel de confort e iluminación que se están afectando. En el campo destinado para la compensación económica recibida se aclara que no hay beneficio económico y que es la opción donde se tiene un menor impacto económico.

Ganancias de producción sin participación del evento PRD – Costo de penalización por no participar en el evento

Se entrega un reporte informando que la opción con menor impacto económico es pagar el costo de la penalización y no participar en el evento del PRD

Figura 24 . Diagrama de flujo del algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible



5 ELABORACIÓN DE UN CASO HIPOTETICO PARA LA APLICACIÓN DEL ALGORITMO

En la búsqueda de un cliente no regulado al cual realizar la aplicación del algoritmo para gestionar sus cargas dentro de un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible, se decidió tomar los datos reportados en la literatura de la tesis de maestría ingeniero Pablo Alejandro Mendez Santos el cual realizo un análisis de factibilidad de la aplicación que tendría la gestión de la demanda de energía eléctrica en una industria papelerera y fabricación de cartón (Méndez Santos, 2013).

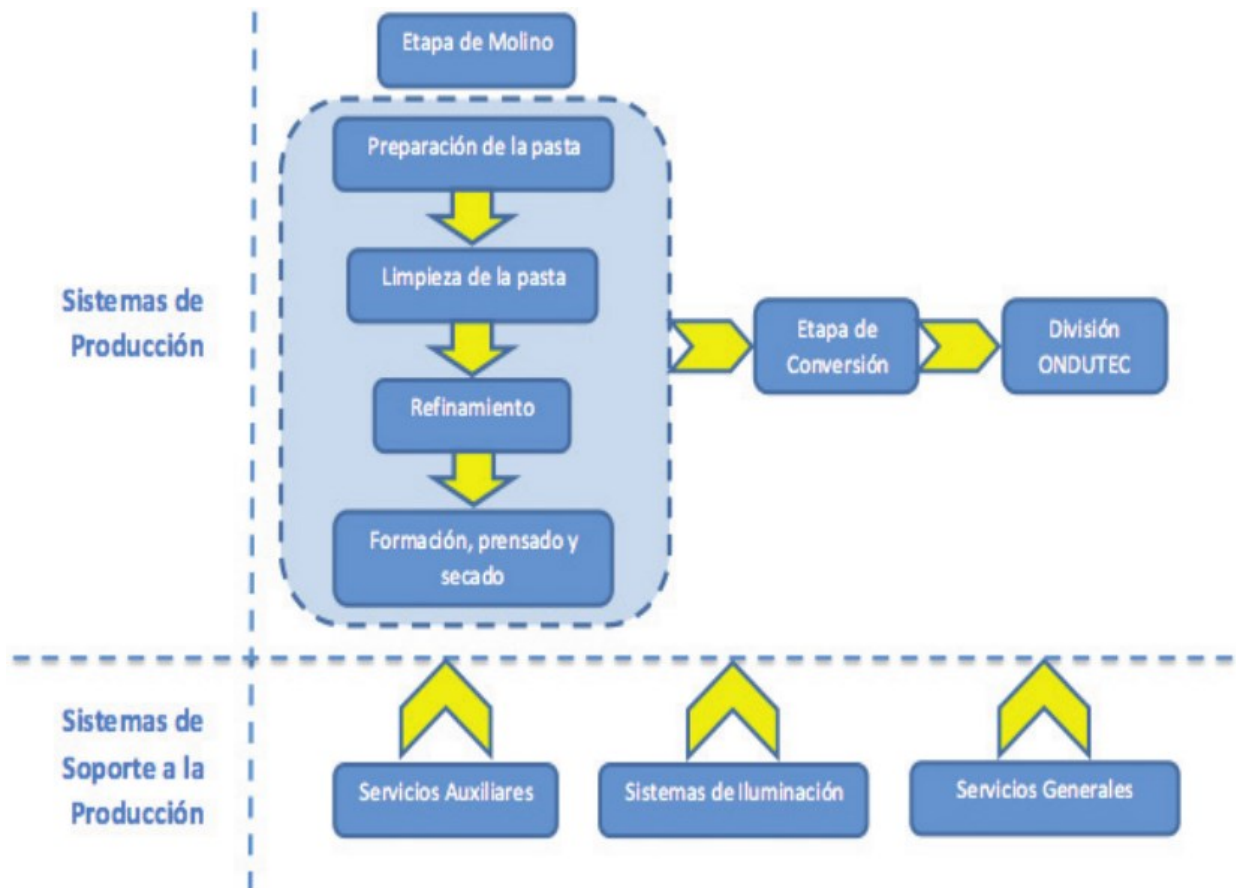
El caso de estudio se realizó con los datos de la empresa Ecuatoriana CARTOPEL que es una industria dedicada a la fabricación de papel y cajas de cartón corrugado, para almacenar, transportar, exhibir y proteger diferentes tipos de productos. Internamente se encuentra organizada en dos divisiones Molino y Ondutec.

División Molino: En estas instalaciones producen rollos de papel que pueden ser utilizadas para la exportación y/o utilización en la fabricación de cajas de cartón. Como materia prima se utiliza papel reciclado y fibras vírgenes, corrugado medio y liners de diferentes gramajes. Como parte de su actividad de producción la división de Molino tiene los siguientes procesos:

- Recolección y almacenamiento de la materia prima
- Preparación de la pasta
- Limpieza de la pasta
- Refinamiento
- Formación, secado, prensado y bobinado
- Línea de conversión

División Ondutec: Aquí es donde se producen las cajas de cartón corrugado para la venta a otras empresas de manufactura de productos varios. A demás de esto cuentan con sistemas de soporte a la producción, los cuales tienen una participación importante en la fabricación del producto pues son los que brindan servicios de apoyo como los servicios auxiliares de aire comprimido, iluminación, generales, etc.

Figura 25 . Esquema de los sistemas eléctricos de CARTOPEL

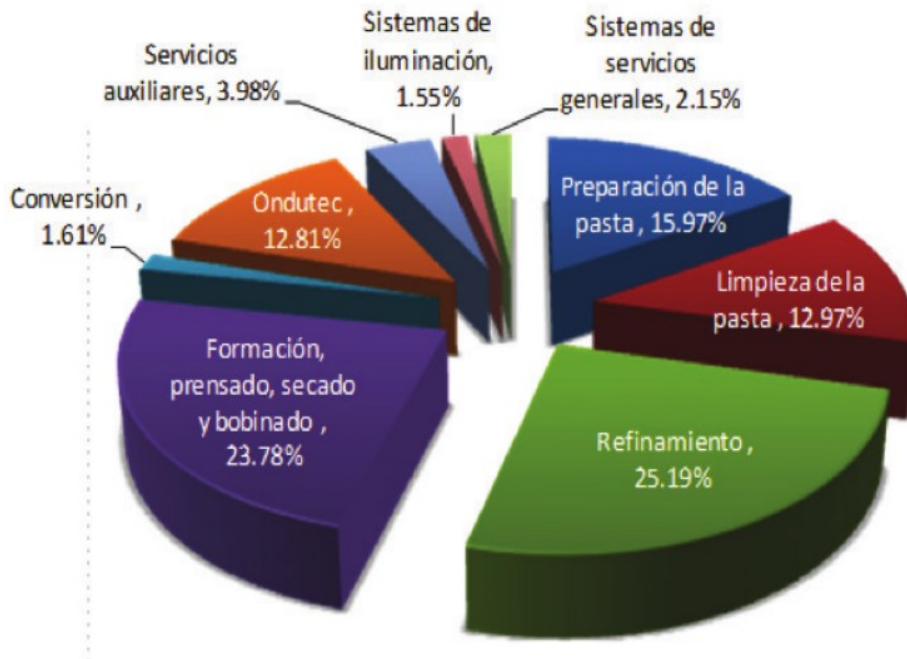


Fuente: Méndez Santos, 2013

El análisis que se realiza en el documento seleccionado como referencia para la toma de datos del cliente CARTOPEL (Méndez Santos, 2013) inicia con la caracterización del proceso de producción el cual realizaron con base a la esquematización de los subprocesos productivos y su organización por sistemas.

Según el estudio realizado en el documento (Méndez Santos, 2013) el 92% del consumo de energía eléctrica es consumida por los sistemas de producción de la planta, el 8% restante se encuentra en los sistemas de soporte. El mayor porcentaje de consumo se encuentra en el proceso de Refinamiento con un 25,19% de carga de producción del molino, seguido de la etapa de Formación, prensado, secado y bobinado con un 23,78%, entre los 2 equivale casi a la mitad del consumo total de la planta.

Figura 26 . Responsabilidad de carga de los sistemas de producción de CARTOPEL



Fuente: (Méndez Santos, 2013)

Obtuvieron un perfil típico de consumo diario con intervalos de 15 minutos entre cada medición a partir de los datos históricos de consumo de energía eléctrica, estos datos son de mediciones realizadas durante los años 2010, 2011 y 2012.

Figura 27 . Perfil de consumo promedio diario de CARTOPEL



Fuente: (Méndez Santos, 2013)

De esta figura se puede observar que se tienen los mayores picos entre las 2:00am y las 4:00am con una potencia máxima aproximada de 5,500 kW, manteniendo una potencia por encima de los 5,400 kW hasta las 6:45am, con otro pico a las 5:00am. Entre las 8:30pm y las 10:00pm ocurre otra elevación de consumo de energía con un pico aproximado de 5,420kW. El periodo de menor consumo ocurre entre las 8:00am y 6:00pm con una potencia promedio aproximada de 5,200 kW. Las características de esta grafica se mantuvieron para los 3 años examinados en la bibliografía, por tanto se asume que no tendrán variaciones para años posteriores, exceptuando un aumento de la carga debida a la implementación de nueva maquinaria. De este perfil de consumo se puede destacar también que la variación de la carga a lo largo del día se da entre 300 y 400 kW

La naturaleza del proceso industrial de la fabricación del papel y cartón corrugado tiene un alto grado de interdependencia, lo que implica que si uno de los procesos es frenado aleatoriamente o sin supervisión es muy probable que toda la producción se vea afectada. Debido a esto realizaron un análisis (Méndez Santos, 2013) Para determinar los equipos y/o máquinas que permitirían algún tipo de gestión. Se encontraron 2 enfoques hacia los cuales se podría dirigir el tipo de gestión a realizar.

El primer enfoque lo que busca es la reducción del consumo de energía eléctrica del proceso de producción mediante el mejoramiento del uso de la energía y la reasignación en los horarios de actividades a otros periodos en los cuales la demanda eléctrica total de la red es menor. Esto implica que el desplazamiento de carga se traslada a horarios de menor costo económico cuando se encuentra en planes de respuesta de la demanda por franjas horarias y una menor probabilidad de señales de evento para los planes de respuesta de la demanda de carga interrumpible. Con el segundo enfoque para reducción del consumo de energía eléctrica analizado en el documento se obtiene una mayor reducción, se trata de la desconexión directa de los equipos y/o máquinas. No obstante es importante realizar una buena gestión de las cargas para determinar un orden prioritario de desconexión tratando de salvaguardar en lo posible la capacidad productiva sin llegar a una desconexión total de la demanda de la industria.

En el estudio que realizaron en el documento (Méndez Santos, 2013) encontraron que era posible realizar una reducción de consumo de energía eléctrica de 370 kW mejorando la asignación de recursos en actividades al sistema de producción de refinamiento, esta sección cuenta con 4 refinadores que suman una potencia de 850 kW entre ellos, sin embargo todos los refinadores no aportan la misma cantidad de pasta, esto debido a que dentro de la técnica de elaboración de la hoja de papel se tienen dos tipos de hoja que se denominan “Top” y “Back” con un aporte al peso final de la hoja del 30 y 70% respectivamente, estas 2 capas se juntan para formar la hoja final. Los resultados de la auditoría eléctrica que realizaron indican que es

posible prescindir de un refinador el cual tiene una potencia efectiva de 207,10kW. En la etapa de conversión presentaba oportunidades para desplazar cargas de los horarios de mayor demanda entre las 6:00pm y 10:00pm logrando retirar 163kW del horario pico.

Del análisis para desconexión directa de los equipos y/o máquinas encontraron que era posible realizar una reducción de carga de aproximadamente 729,18 kW, cabe aclarar que esta desconexión no afectaba sustancialmente las metas finales de producción de la empresa. A continuación se muestra una tabla con las cargas de posible interrupción que generan un mínimo impacto sobre la producción de CARTOPEL.

TABLA IV. CARGAS Y POTENCIA INTERRUMPIBLE IDENTIFICADA EN CARTOPEL QUE GENERAN UN MÍNIMO IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN

Proceso	Potencia efectiva total (kW)	Potencia equipos esenciales en proceso (kW)	Equipos interrumpibles	Potencia interrumpible (kW)
Refinamiento	941,93	850,75	Desfibrador 2	91,17
Formación, Prensado, Secado y Bobinado	910,79	648,34	Bomba vacío couch bajo	98,37
			Bomba vacío couch alto	85,83
			Bomba vacío 1 Top	78,25
Preparación de la Pasta	833,71	653,78	Ragger Pulper #4	1,16
			Bomba Pulper #4	37,99
			Transportador inclinado Pulper #2	5,04
			Bomba Pulper #2	15,45
			Bomba Pulper #3	26,75
			Pulper #2	93,54
Limpieza de la Pasta	480,03	284,40	Desfibraser F1	53,24
			Bomba alta presión N°2	52,49
			Bomba alta presión WKF 65/4 #1	51,08
			Screen Top	38,81
CARGA TOTAL INTERRUMPIBLE (kW)				729,18

Fuente: (Méndez Santos, 2013)

Además de las cargas identificadas en la tabla IV se asumirán otras cargas adicionales que no se encuentran en el documento consultado, esto para efectos didácticos en la prueba del algoritmo y observar mejor su comportamiento. El listado de cargas reales y simuladas se encuentra en la tabla V.

6 APLICACIÓN DEL ALGORITMO EN UN CASO HIPOTÉTICO

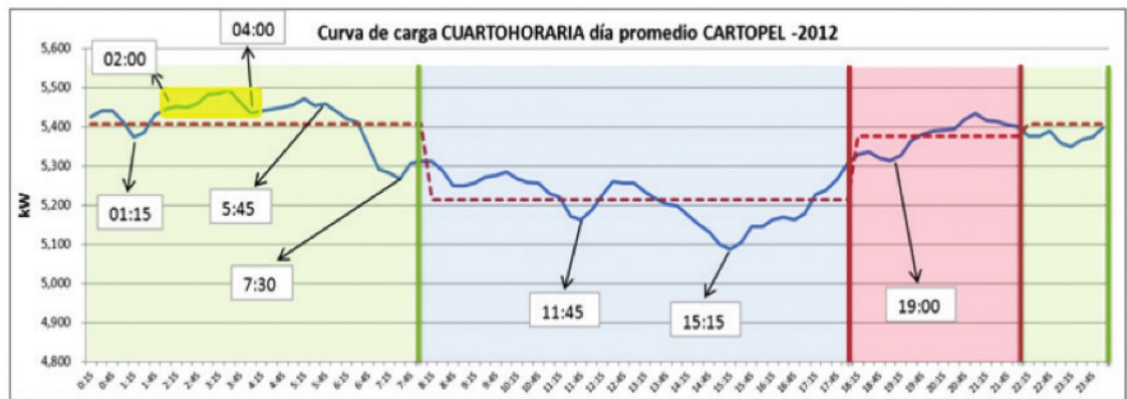
A continuación se realizará para 2 ejemplos la prueba de escritorio del algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible, en cada ejemplo se realiza el procedimiento para una de las alternativas y un nivel de confort, tomando en cuenta e indicando que el procedimiento es el mismo para obtener las 2 alternativas restantes:

Ejemplo 1: Se asumirá que CARTOPEL firmó un contrato de un PDR de carga interrumpible comprometiéndose a una *Potencia de reducción pactada* de 2100kW, de los cuales aproximadamente 1600kW son de *potencia reducida* en las cargas y 500kW de un turbo generador de diésel que permitirá seguir el procedimiento de una empresa con autogeneración.

1. Se recibe la notificación del operador de red, en la cual se indica que se debe reducir una potencia de 2000 kW, el horario de inicio del evento está programado para las 7:00 PM y la duración del evento será de 3 horas.

Se llenan los datos de entrada para tener la información necesaria que requiere el algoritmo para su desarrollo.

- Perfil de consumo total



- Potencia de reducción pactada: 2100kW
- Potencia solicitada por el operador de red: 2000kW
- Valor del kWh de reducción durante la activación del PRD: 8\$(PG&E, 2017)
- Costo de penalización por no participar en el evento 50000\$
- Potencia de autogeneración: 500kW

TABLA V.LISTADO DE CARGAS PARA SIMULACIÓN DEL CASO
HIPOTÉTICO

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad
1	Pulper 1	373	0 - 24	1
2	Pulper 2	373	12 - 22	1
3	Pulper 3	373	12 - 22	1
4	Pulper 4	373	0 - 24	1
5	Desfibrador 1	91,17	0 - 24	1
6	Desfibrador 2	91,17	0 - 24	2
7	Refinador 1	212	0 - 24	1
8	Refinador 2	212	0 - 24	3
9	Refinador 3	212	0 - 24	1
10	Refinador 4	212	0 - 24	1
11	Bomba vacío couch bajo	98,37	0 - 24	4
12	Bomba vacío couch alto	85,37	0 - 24	4
13	Bomba de vacío 1 top	78,25	0 - 24	5
14	Ragger Pulper #1	1,16	20 - 22	1
15	Ragger Pulper #2	1,16	20 - 22	1
16	Ragger Pulper #3	1,16	20 - 22	1
17	Ragger Pulper #4	1,16	20 - 22	5
18	Bomba vacío #1	38	0 - 24	1
19	Bomba vacío #2	38	0 - 24	1
20	Bomba vacío #3	38	0 - 24	1
21	Bomba vacío #4	38	0 - 24	1
22	Transportador inclinado Pulper #1	5,04	20 - 22	1
23	Transportador inclinado Pulper #2	5,04	20 - 22	5
24	Transportador inclinado Pulper #3	5,04	20 - 22	1
25	Transportador inclinado Pulper #4	5,04	20 - 22	1
26	Bomba Pulper #1	15,45	19 - 22	1
27	Bomba Pulper #2	15,45	19 - 22	5
28	Bomba Pulper #3	26,75	0 - 24	5
29	Bomba Pulper #4	26,75	0 - 24	5
30	Desfibraser f1	53,24	0 - 24	4
31	Desfibraser f2	53,24	0 - 24	1
32	Desfibraser f3	53,24	0 - 24	1
33	Desfibraser f4	53,24	0 - 24	1
34	Bomba de alta presión #1	52,5	0 - 24	1
35	Bomba de alta presión #2	52,5	0 - 24	2

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad
36	Bomba de alta presión #3	52,5	0 - 24	1
37	Bomba de alta presión #4	52,5	0 - 24	1
38	Bomba de alta presión WKF 65/4 #1	51,08	0 - 24	3
39	Bomba de alta presión WKF 65/4 #2	51,08	0 - 24	1
40	Bomba de alta presión WKF 65/4 #3	51,08	0 - 24	1
41	Bomba de alta presión WKF 65/4 #4	51,08	0 - 24	1
42	Screen Top	38,81	0 - 24	4
43	Bombas toma de agua H2O #1	44,76	0 - 24	1
44	Bombas toma de agua H2O #2	44,76	0 - 24	2
45	Bombas toma de agua H2O #3	44,76	0 - 24	1
46	Bombas toma de agua H2O #4	44,76	0 - 24	1
47	Cedazo #1	80	0 - 24	1
48	Cedazo #2	80	0 - 24	3
49	Cedazo #3	80	0 - 24	1
50	Cedazo #4	80	0 - 24	1

2. se compara la suma de la potencia total pactada y la potencia autogenerada con la potencia a reducir Este valor de carga a reducir debe ser menor o igual a la potencia de reducción pactada.

$$Potencia solicitada \leq (Potencia reducida + potencia autogenerada + confort)$$

$$2000 KW \leq (1600KW + 500KW)$$

$$2000 KW \leq 2100KW$$

3. Se ha verificado que sí es posible cumplir con la reducción de carga solicitada, por tanto se procede a identificar las cargas que se van a desconectar para cumplir con la de 2000 kW, se debe tener en cuenta las siguientes restricciones operativas para cumplir con esta tarea.
4. Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar las cargas que cumplen con las restricciones de horario de uso e índice de flexibilidad y a seleccionar el nivel de confort.

4.1 Índice de flexibilidad de las cargas; indica la importancia de la maquina en el proceso de la empresa, teniendo prioridad en la desconexión las maquinas con mayor índice de flexibilidad. Esto quiere decir que una carga con índice de flexibilidad 3 va a ser desconectada primero que una carga que tenga índice de flexibilidad 2 o 1.

4.2 Horario de uso de las carga; Es importante que la carga que se está calculando en el algoritmo de verdad esté en funcionamiento en el horario que se desea calcular. En otras palabras que la maquina no se encuentre apagada en el momento en que el algoritmo esté utilizando su potencia para el cálculo de reducción.

4.3 Nivel de confort para las opciones de gestión de carga: se asumen que los aires acondicionados consumen el 5% (275kW) de la potencia total y según el documento la iluminación corresponde al 1.55% (85kW) de la potencia total.

- El ejemplo se realizó para un nivel de confort bajo, opción con 0% de potencia en aire acondicionado y 70% de iluminación.

5. Para decidir el orden de salida de las cargas que se seleccionaron anteriormente se ubicaron en orden descendente las cargas de mayor potencia a menor potencia, asegurando que las cargas con mayor potencia salgan primero de funcionamiento y minimizando el número de máquinas que deben parar durante la reducción de carga.

Siguiendo el mismo orden descendente que traía del paso anterior, ahora las cargas con mayor índice de flexibilidad se pasaron para arriba de manera sucesiva hasta llegar a las de menor índice de flexibilidad. Con este procedimiento se garantizó que en primeras posiciones quedaron las cargas de mayor potencia con mayor índice de flexibilidad.

TABLA VI. LISTADO DE CARGAS ORDENADAS DE MAYOR A MENOR POTENCIA E ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad
13	Bomba de vacío 1 top	78,25	0 - 24	5
21	Bomba Pulper #4	38	0 - 24	5
28	Bomba Pulper #3	26,75	0 - 24	5
27	Bomba Pulper #2	15,45	19 - 22	5
23	Transportador inclinado Pulper #2	5,04	20 - 22	5
17	Ragger Pulper #4	1,16	20 - 22	5
11	Bomba vacío couch bajo	98,37	0 - 24	4
12	Bomba vacío couch alto	85,37	0 - 24	4
30	Desfibraser f1	53,24	0 - 24	4
42	Screen Top	38,81	0 - 24	4

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad
6	Desfibrador 2	91,17	0 - 24	3
48	Cedazo #2	80	0 - 24	3
35	Bomba de alta presión #2	52,5	0 - 24	3
38	Bomba de alta presión WKF 65/4 #1	51,08	0 - 24	3
2	Pulper 2	373	12 - 22	2
8	Refinador 2	212	0 - 24	2
44	Bombas toma de agua H2O #2	44,76	0 - 24	2

Como ninguno de los equipos o máquinas que tengan índice de flexibilidad 1 es tomada en cuenta para la gestión de cargas según la restricción de *índice de flexibilidad*, solo se organizó la tabla con los equipos y máquinas que tuvieran índice de flexibilidad mayor a 2.

Siguiendo además la restricción de *horario de uso de las cargas* se encontró que el Transportador inclinado Pulper #2 y Ragger Pulper #4 no cumplían con el horario de uso durante el evento asignado por el operador de red.

6. Luego de tener ordenadas las cargas se procede a sumar las potencias de arriba hacia abajo una a una cada vez que se regrese a este paso
7. Se compara la potencia solicitada y la potencia total reducida $\pm 5\%$. Cuando la Potencia solicitada fue menor a la potencia total reducida se repitió el paso 6 para seguir sumando potencia de las cargas siguientes. Después algunas iteraciones la suma de la potencia total reducida (*potencia de reducción, potencia autogenerada*, iluminación al 70% y aires acondicionados al 0%) es mayor a la *potencia solicitada*, por tal motivo se resta una de las cargas de menor índice de flexibilidad y se regresa al paso 6. se restó la potencia del cedazo #2 y se continuaron las iteraciones para quedar finalmente con una *potencia total de reducción* de 2048 kW la cual se encuentra dentro del margen del más o menos 5% de la potencia solicitada. De esta manera se estaría cumpliendo con la *potencia solicitada* por el operador de red, al mismo tiempo se está cumpliendo con un orden de salida de las máquinas y equipos establecido en un principio por medio del índice de flexibilidad.

TABLA VII. LISTADO DE CARGAS QUE CUMPLEN CON LA REDUCCIÓN DE POTENCIA SOLICITADA EJEMPLO 1

Orden de Desconexión	Nombre	Potencia (kW)	Índice de flexibilidad
1	Bomba de vacío 1 top	78,25	5
2	Bomba Pulper #4	38	5

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento
3	Bomba Pulper #3	26,75	5
4	Bomba Pulper #2	15,45	5
5	Bomba vacío couch bajo	98,37	4
6	Bomba vacío couch alto	85,37	4
7	Desfibraser f1	53,24	4
8	Screen Top	38,81	4
9	Desfibrador 2	91,17	3
10	Cedazo #2	80	3
11	Bomba de alta presión #2	52,5	3
12	Bomba de alta presión WKF 65/4 #1	51,08	3
13	Pulper 2	373	2
14	Refinador 2	212	2
Sumatoria de potencia de reducción		1214 kW	
P. reducción + P. autogenerada + confort 0% + iluminación 70%		2048 kW	

Para generar otras alternativas de gestión se debe regresar al paso 4.3 y repetir el mismo procedimiento para las demás opciones de nivel de confort e iluminación desde el paso 4.3.

- Se asume que para este caso las ganancias que obtiene la empresa son mayores después de participar en el evento del programa de respuesta de la demanda.

$$\text{Ganancias con compensacion del evento PRD} > \text{Ganancias sin compensacion del evento PRD}$$

Se calculan los incentivos que se recibirían por la participación en el evento del PRD de carga interrumpible.

$$\text{Compensación recibida} = (8\$_{kWh} \times 2048kW \times 3_h) = 49,152\$$$

Por tanto el reporte final tendría la siguiente información:

- Se entrega el reporte con el listado de cargas de la tabla VII
- la potencia reducida : 2048kW
- Nivel de confort bajo: iluminación 70%, aire acondicionado 0%
- Compensación recibida : 49,152\$

Los resultados obtenidos para este ejemplo se consideran satisfactorios al obtener el listado de cargas o equipos que deben ser gestionados por el usuario y el orden en el cual debe ejecutarse. La compensación recibida será de 49,152\$ dólares si el

cliente reduce los 2048kW durante las 3 horas del evento. Durante este tiempo tampoco se tendrá encendido ningún aire acondicionado y la iluminación estará al mínimo reglamentario, por lo que no se tendrá ningún tipo de confort.

Ejemplo 2: Se realizó nuevamente el procedimiento anterior utilizando como condiciones iniciales una señal de evento con potencia solicitada de 800kW con hora de inicio: 5:00Pm y duración de 2 horas. Se asume que esta vez el cliente Cartopel no cuenta con autogeneración y el nivel de confort estará fijado en iluminación 90% (8.5) y aire acondicionado 60% (110kW).

Después de realizar los 9 pasos del algoritmo para generar alternativas de gestión de un usuario no regulado en un PRD de carga interruptible el reporte final contiene la siguiente información.

- Listado de cargas a gestionar

TABLA VIII. LISTADO DE CARGAS QUE CUMPLEN CON LA REDUCCIÓN DE POTENCIA SOLICITADA EJEMPLO 2

n°	Nombre	Potencia (kW)	Horario de funcionamiento	Índice de flexibilidad
1	Bomba de vacío 1 top	78,25	0 - 24	5
2	Bomba Pulper #4	38	0 - 24	5
3	Bomba Pulper #3	26,75	0 - 24	5
4	Bomba vacío couch bajo	98,37	0 - 24	4
5	Bomba vacío couch alto	85,37	0 - 24	4
6	Desfibraser f1	53,24	0 - 24	4
7	Screen Top	38,81	0 - 24	4
8	Desfibrador 2	91,17	0 - 24	3
9	Cedazo #2	80	0 - 24	3
10	Bomba de alta presión #2	52,5	0 - 24	3
11	Bomba de alta presión WKF 65/4 #1	51,08	0 - 24	3
Sumatoria de potencia de reducción		693,54		
P. reducción + 60% aire acondicionado + 90% iluminación		811,54		

- Potencia reducida : 811 kW
- Nivel de confort medio: iluminación 90%, aire acondicionado 60%
- Compensación recibida : $(8\$_{kWh} \times 811_{kW} \times 2_h) = 12,976\$$

Los resultados del procedimiento realizado en el ejemplo 2 se consideran satisfactorios. El usuario no regulado obtiene el listado de cargas y el orden en que debe gestionar. Podrá recibir una compensación de 12,976\$ reduciendo 811kW durante 2 horas del evento.

En los 2 ejemplos desarrollados el algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado en un PRD de carga interruptible demostró ser

una herramienta efectiva que facilita al usuario procesar gran cantidad de información que interviene en el PRD y simplifica los aspectos técnicos económicos que debe considerar para la toma de decisiones y la participación en los eventos que se puedan presentar.

CONCLUSIONES

Se definió basado en la bibliografía analizada que el programa de respuesta de la demanda más apropiado para aplicar al cliente no regulado considerando sus requerimientos propios es el de carga interrumpible.

La metodología general para desarrollar un algoritmo aplicado en la selección de alternativas permitió desarrollar el algoritmo para generar alternativas de gestión de cargas de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible, mostrando ser una herramienta eficaz en la solución de este tipo problemas.

Se propuso un procedimiento general para la gestión de carga en un programa de carga interrumpible el cual permite al usuario no regulado tener un panorama más amplio del procedimiento que debe realizar para participar en los eventos enviados por el operador de red, lo cual mejora su capacidad de dar una respuesta oportuna.

En la gestión de carga en un usuario no regulado es conveniente contar con diferentes niveles de confort e iluminación, lo cual conlleva a contar con diferentes alternativas de gestión.

El índice, “índice de flexibilidad”, propuesto para las máquinas y equipos facilitó la tarea de priorizar el orden de desconexión o reducción de potencia para gestionar las carga de un usuario no regulado en un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible.

Se elaboró un algoritmo para generar alternativas de gestión de carga de un usuario no regulado en un programa de respuesta de la demanda de carga interrumpible. El uso de este algoritmo que permite cumplir efectivamente con la carga solicitada en un evento determinado y visualizar la compensación económica que se podrá obtener.

Se probó el algoritmo para generar una alternativa de gestión de carga bajo dos situaciones diferentes en las cuales el algoritmo mostró ser una herramienta eficaz para facilitar la participación de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible.

TRABAJOS FUTUROS

Con la finalización de este proyecto, se plantean dos posibles trabajos futuros que permitan extender y profundizar algunos asuntos aquí mencionados.

1. Realizar un software o aplicación móvil que integre con las TICs el algoritmo para generar alternativas de gestión de un usuario no regulado en un PRD de carga interrumpible.
2. Diseñar algoritmos específicos para cada uno de los planes de respuesta de la demanda con el objetivo de unificarlos en un solo algoritmo que sirva como base para la realización de un software o aplicación móvil.
3. Probar el algoritmo con datos reales de un usuario no regulado. Además construir un PRD de carga interrumpible para el caso colombiano.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L., Rodriguez, L., & Fernández, M. (2000). *Fundamentos de Programacion Libro de Problemas*. (C. F. Madrid, Ed.) (Concepción). México: McGraw Hill.
- Albadi, M. H., & El-Saadany, E. F. (2008). A summary of demand response in electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 78(11), 1–8.
<http://doi.org/10.1016/j.epsr.2008.04.002>
- Baratto, P. (2010). Implementación de un programa de respuesta de la demanda de energía eléctrica en un mercado de clientes no regulados en Colombia. *Revista de La Maestría En Derecho Económico*, 6, 259–292. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cerezo, M. Á. (2010). *Gestión Activa de la Demanda*. Universidad Carlos III de Madrid. Retrieved from http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/9932/PFC_MiguelAngel_Cerezo_Moreno.pdf?sequence=1
- Domínguez, B. (2012). *La Gestión de la Demanda en el Sector Eléctrico Español*. Trabajo de grado, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España. Retrieved from <http://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4fc6c1d536712.pdf>
- Energy Market Company. (2012). A guide to providing Interruptible Load in Singapore's wholesale electricity market, 1–15. Retrieved from https://www.emcsg.com/fl46,16653/Guide_to_providing_IL_website_21082012.pdf
- ENERNOC. (2012). EnerNOC's New Zealand Ancillary Services Program Honored at PLMA Awards. Retrieved from <https://www.enernoc.com/our-resources/brochures-faq/faq-genesis-programme>
- Ghia, A., & Del Rosso, A. (2009). *Análisis de respuesta de la demanda para mejorar la eficiencia de sistemas eléctricos*. Retrieved from www.camarco.org.ar/File/GetPublicFile?id=508
- Grattieri, W. (2009). *Electric Load Management in Industry*. Retrieved from <http://www.leonardo-energy.org>
- Hernández, L. F. (2016). *“aspectos regulatorios asociados a la implementación de programas de gestión activa de la demanda eléctrica en colombia”*. Universidad del Valle.
- Horowitz, S., Mauch, B., & Sowell, F. (2013). *Forecasting for direct load control in energy markets*. Carnegie Mellon University. Retrieved from <https://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/2b68/e3d083de13f29bc2bccb8bd44de046c63860.pdf>

- Koliou, E., Eid, C., & Hakvoort, R. A. (2013). Development of Demand Side Response in liberalized electricity markets: Policies for effective market design in Europe. In *2013 10th International Conference on the European Energy Market (EEM)* (pp. 1–8). Stockholm: IEEE. <http://doi.org/10.1109/EEM.2013.6607403>
- Larousse. (2017). Diccionario Larousse. Retrieved from <https://www.larousse.mx/>
- Méndez Santos, P. . (2013). *Análisis de Factibilidad para la Implementación de la Gestión de la Demanda del Sector Industrial. Tesis de maestria*. Universidad de Cuenca.
- Meralco. (2015). Interruptible load program. Retrieved from http://corporatepartners.meralco.com.ph/tools/ILP_Protocol
- NGCP. (2014). *Interruptible load agreement*. Retrieved from http://www.erc.gov.ph/Files/Render/media/ILP_Agreement_Tripartite_2nd_draft.pdf
- NYISO. (2013). Emergency Demand Response Program Manual. Retrieved from http://www.nyiso.com/public/webdocs/markets_operations/documents/Manuals_and_Guides/Manuals/Operations/edrp_mnl.pdf
- Pacific Gas and Electric Company, & Pg&E. (2010). Base Interruptible Program (BIP). Retrieved from https://www.pge.com/en_US/business/save-energy-money/energy-management-programs/demand-response-programs/base-interruptible/base-interruptible.page
- REE. (2015). Red Eléctrica de España. Servicio de interrumpibilidad. Retrieved from <http://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema/gestion-de-demanda/servicio-de-interrumpibilidad>
- Rocky Mountain Institute. (2006). Demand Response: An Introduction – Overview of Programs, Technologies, & Lessons Learned. Boulder, Colorado. Retrieved from http://www.smartgridinformation.info/pdf/2440_doc_1.pdf
- Rodríguez, J. J. (2002). *INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN. TEORÍA Y PRÁCTICA*. España: Editorial Club Universitario.
- Strahan, R., & Miller, A. (2014). Systems to Implement Demand Response in New Zealand. *Electric Power Engineering Centre*. New Zealand.
- Universidad de los Andes. (2006). Asesoría para el diseño de un mecanismo de mercado para la participación y remuneración de la demanda eléctrica desconectable. Retrieved from [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/0/662d6f15086eb97f0525785a007a6e1b/\\$FILE/CIRCULAR011-2007_ANEXO.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/0/662d6f15086eb97f0525785a007a6e1b/$FILE/CIRCULAR011-2007_ANEXO.pdf)